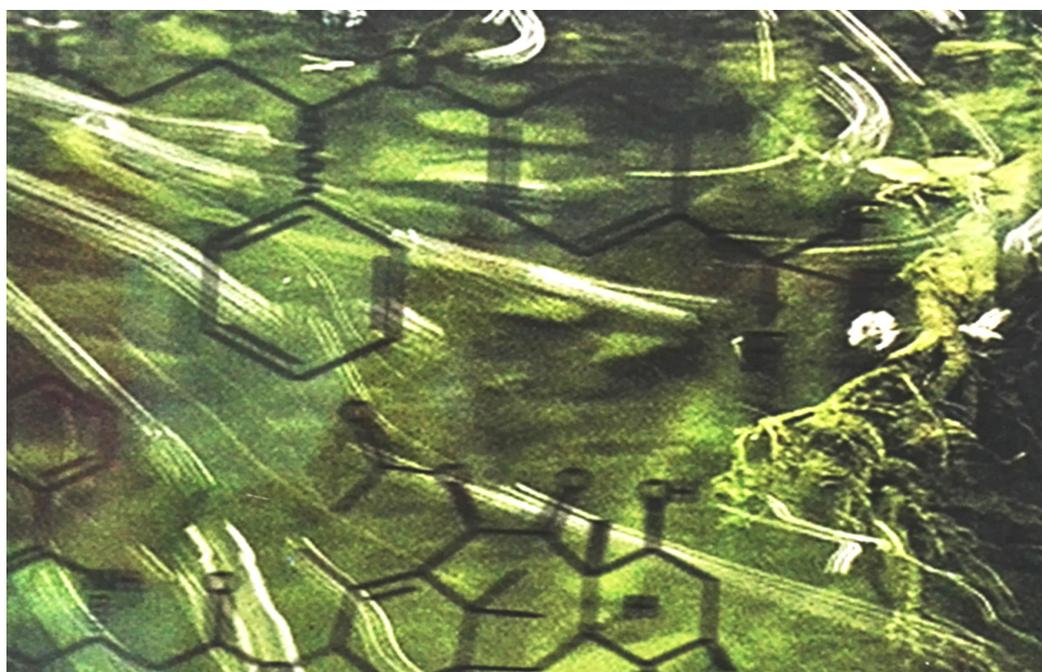




BOLETÍN *de la* SOCIEDAD
QUÍMICA
de MÉXICO

ENERO-ABRIL 2008

Bol. Soc. Quím. Méx, 2008, V2, N1



Bol. Soc. Quím. Méx, 2008, V2, N1
ISSN 1870-1809
México, D.F.

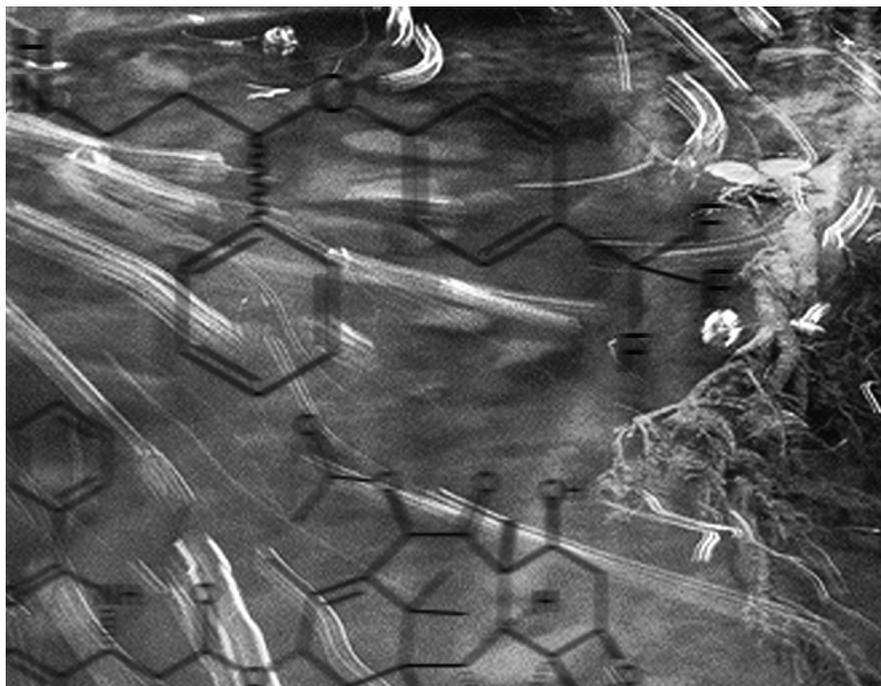
www.bsqm.org.mx



BOLETÍN *de la* SOCIEDAD
QUÍMICA
de MÉXICO

ENERO - ABRIL 2008

Bol. Soc. Quím. Méx. 2008, Vol. 2, No. 1



Bol. Soc. Quím. Méx. 2008, Vol. 2, No. 1
ISSN 1870-1809
México, D.F.

BOLETÍN *de la* SOCIEDAD
QUÍMICA
de MÉXICO

(Bol. Soc. Quím. Méx.)

Contenido

Fluoroquinolonas. Mecanismos de acción y resistencia, estructura, síntesis y reacciones fisicoquímicas importantes para propiedades medicinales Socorro Leyva* y Elisa Leyva	1-13
El Departamento de Química de la Universidad Autónoma Metropolitana. Celebrando Treinta Años (1977-2007) Alberto Rojas Hernández e Ignacio González Martínez	14-23
Los azopolímeros: materiales inteligentes con respuesta a la luz <i>Ernesto Rivera, * Tonatiuh García, Roberto Salazar y Jorge Dircio</i>	24-34
Sobre el curso Temas Selectos en Síntesis Orgánica organizado por la Sociedad Química de México y la Facultad de Química de la UNAM, impartido en enero del 2008 José Norberto Farfán	35-36
Alberto Bremauntz Monge, Ingeniero Químico (1932-2006) Francisco Barnés de Castro	37
Comentario sobre los libros Environmental Chemistry: Fundamentals y Environmental Chemistry: Microscale Laboratory Experiments de Jorge G. Ibáñez, Margarita Hernández, Carmen Doria-Serrano, Arturo Frago-Infante, Mono Mohan Singh. Springer: Nueva York, 2007 Pedro F. Zárate-Del Valle, Sergio Gómez Salazar	38

* El asterisco indica el nombre del autor a quien debe dirigirse la correspondencia

Fluoroquinolonas. Mecanismos de acción y resistencia, estructura, síntesis y reacciones fisicoquímicas importantes para propiedades medicinales

Socorro Leyva* y Elisa Leyva

Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias Químicas.
Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Avenida Dr. Nava No. 6. Zona Universitaria, C.P. 78210, San Luis Potosí, S.L.P.
Teléfono: 44 48 262440 al 46 ext 526. Fax: 44 48 262372. E-mail: sleyva@uaslp.mx

Resumen: Las fluoroquinolonas son agentes antimicrobianos sintéticos con un amplio espectro de actividad antibiótica contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas que actúan por la inhibición de ADN girasa o topoisomerasa IV. Estos compuestos son ampliamente usados en la práctica clínica en el tratamiento de infecciones bacterianas que incluyen infecciones respiratorias y del tracto urinario. La primera generación de quinolonas comenzó a utilizarse a principios de los años 60. Las generaciones subsecuentes han sido modificadas para incrementar potencia y rango, además de mejorar el perfil farmacocinético. En esta revisión, se presenta la estructura básica de las diferentes fluoroquinolonas que se utilizan en la práctica clínica así como la metodología empleada para prepararlas. También, se describen los mecanismos de acción, de estas quinolonas, contra diferentes agentes patógenos y los mecanismos de resistencia desarrollados por estos microorganismos. En la última parte, se discuten las propiedades fisicoquímicas relevantes para las aplicaciones medicinales de las fluoroquinolonas y los estudios de relación estructura-actividad.

Palabras clave: Fluoroquinolonas, actividad biológica, antibacterianos.

Abstract: Fluoroquinolones are synthetic antimicrobial agents that have a broad spectrum of antibiotic activity against Gram positive and Gram negative bacteria and they act by inhibition of DNA gyrase or topoisomerase IV. These compounds are extensively used in the clinical practice for the treatment of bacterial infections including respiratory or urinary tract infections. First generation quinolones started their use in the early 60's. Subsequent generations have been modified to increase spectrum and potency, as well as to improve pharmacokinetic properties. In this review, the basic structure of several quinolones used in the clinical practice and the methodologies to prepare them are presented. Fluoroquinolones mechanisms of action against several pathogenic agents and the subsequent resistant mechanisms developed by these microorganisms are also presented. In the last part, a discussion of their physicochemical properties relevant to their medicinal applications as well as their studies on the structure-activity relation is given.

Key words: Fluoroquinolones, biological activity, antibacterials.

Introducción

Las quinolonas son un grupo de agentes antimicrobianos sintéticos, numeroso y químicamente muy heterogéneo. Estructuralmente consisten de una parte **A** constituida por un ácido 1-sustituido-1,4-dihidro-4-oxopiridin-3-carboxílico **1** combinado con un anillo aromático o heteroaromático **B**. En conjunto, podemos definirlos como derivados de ácido 3-carboxílico-4-oxo de una naftiridina **2**, quinolina **3**, piridopirimidina **4** o cinolina **5** (Fig 1). En el caso de quinolonas policíclicas existen posiciones de puente en N-1, C-8; N-1, C-2; C-2, C-3; C-6, C-7; N-1, C-8, C-2 (Fig. 2) [1-4].

El ácido nalidíxico **2** fue la primera quinolona utilizada clínicamente, a principios de los años 60, mostrando actividad contra la mayoría de las bacterias Gram negativas causantes de infección urinaria, siendo ligeramente activo contra bacterias Gram positivas y *Pseudomonas*; teniendo una vida útil muy reducida debido al incremento de resistencia [5]. Más tarde, modificaciones en su estructura produjeron compuestos tales como: el ácido oxolínico **3**, el ácido pipemídico **4** y la cinoxacina **5**, los cuales representan a las quinolonas de la primera generación que, aunque superaban algunas de las limitaciones del ácido nalidíxico, seguían siendo antimicrobianos para infecciones de las vías urinarias (Fig. 1) [6].

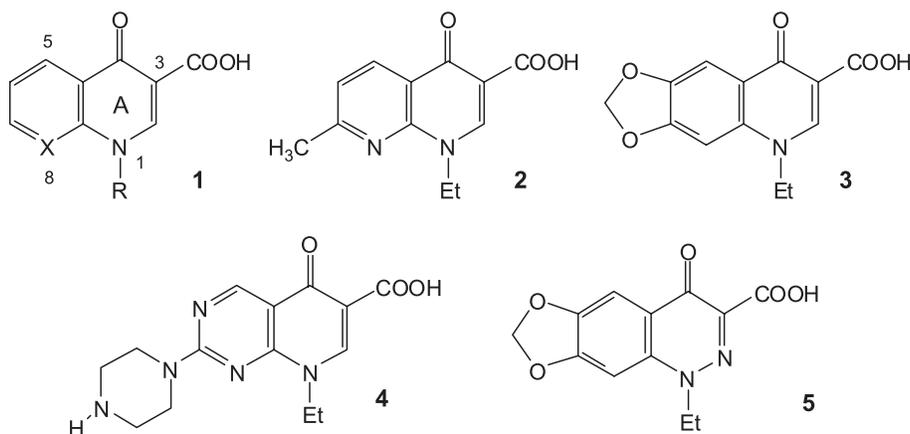


Fig. 1. Estructura general del anillo de las quinolonas.

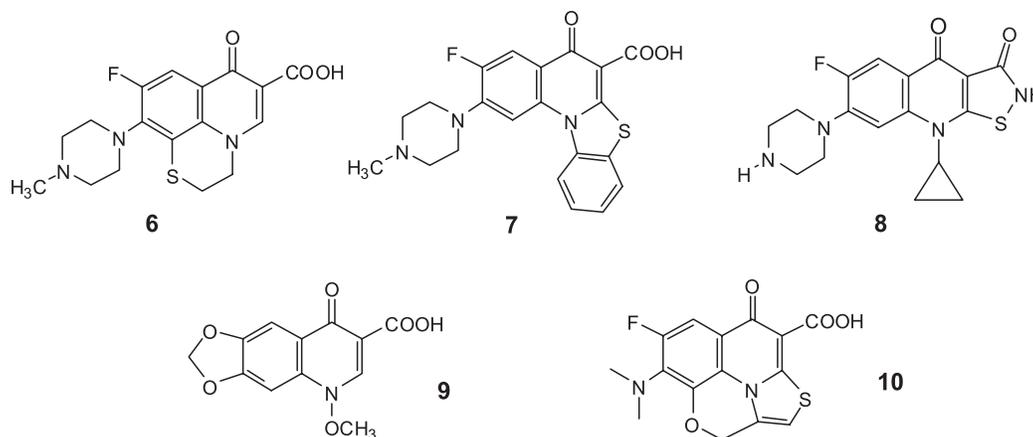


Fig. 2. Quinolonas policíclicas.

Durante los años ochentas, se introdujo un átomo de flúor en la posición 6 y un anillo de piperazina en el carbono 7, originándose nuevas estructuras (ciprofloxacina, ofloxacina, norfloxacina, etc), las cuales presentaron mejoras tanto en actividad biológica como en propiedades farmacocinéticas (buena absorción oral y amplia distribución tisular); convirtiendo a esta generación de quinolonas en fármacos de primera línea frente a numerosas infecciones y constituyendo un nuevo grupo de agentes antimicrobianos llamados piperazinil fluoroquinolonas o simplemente fluoroquinolonas [7].

El sustituyente flúor en el C-6 incrementó tanto la penetración celular (1 a 70 veces) como la inhibición a la ADN girasa (2 a 17 veces) con respecto a los análogos no sustituidos en C-6 siendo considerado un grupo óptimo. El sustituyente en el C-7 también influye en la actividad inhibitoria de la ADN girasa, la potencia, la solubilidad y otras propiedades fisicoquímicas [7-11]. Casi todas las fluoroquinolonas usadas clínicamente tienen una amina heterocíclica en la posición 7. Piperazina, piperidina, morfolina, pirrol y pirrolidina son algunos ejemplos de sustituyentes en el C-7 de las quinolonas. Sin embargo, existen algunas quinolonas donde se tiene un carbono con carácter sp^2 como ligante (Fig. 3).

Un considerable progreso en el uso terapéutico de fluoroquinolonas se ha realizado a partir del descubrimiento de la norfloxacina [7]. Su indicación inicial en el tratamiento de infecciones urinarias se ha expandido a infecciones que incluyen tracto respiratorio superior e inferior, enfermedades transmitidas sexualmente, osteomielitis, piel e infecciones

oftalmológicas. El amplio uso de la fluoroquinolona dentro de la práctica clínica se debe a que son antibióticos de amplio espectro con actividad contra microorganismos Gram negativos, Gram positivos, anaerobios y micobacterias [8]. Mucha de la investigación realizada en quinolonas ha sido aplicada a estudiar las relaciones estructura-actividad (SAR) [9-11], mecanismo de acción [12] y reacciones adversas [13, 14].

Mecanismos de acción

Las quinolonas son antibióticos cuyo blanco primario son la ADN girasa en organismos Gram negativos y la topoisomerasa IV en organismos Gram positivos [15-17]. La ADN girasa es un heterotetramero A_2B_2 (Fig. 4) con la subunidad A (Gyr A, 97kDa) como responsable del enrollamiento del ADN, ruptura y reunión de ADN; y la subunidad B (Gyr B, 90kDa) como la encargada de la hidrólisis de ATP y de la interacción con Gyr A y ATP. La ADN girasa introduce superenrollamientos negativos en el ADN y libera la tensión torsional acumulada por los procesos de replicación y transcripción; mientras que la topoisomerasa IV presenta una potente actividad decatenante. Ambas enzimas son esenciales para la replicación y transcripción del ADN donde la inhibición de estas funciones conduce a una muerte celular [18-20]. La inhibición de la ADN girasa puede categorizarse dentro de los cinco tipos siguientes: Mecanismo específico basado en la inhibición de la Gyr A, mecanismo específico basado en la inhibición de la Gyr B,

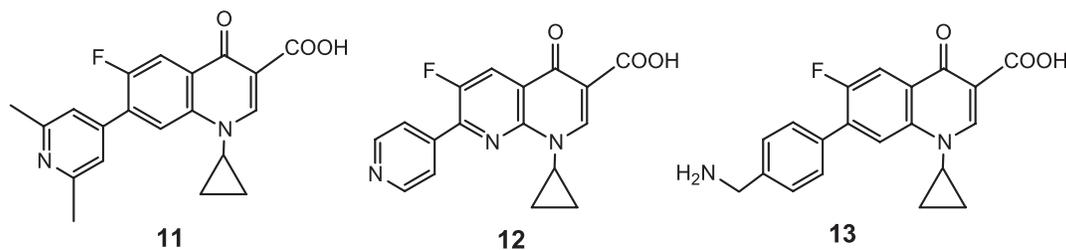


Fig. 3. Fluoroquinolonas y naftiridina unidas a anillos aromáticos.

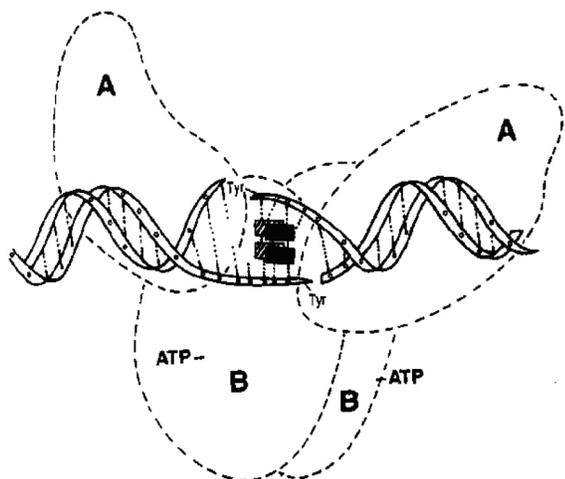


Fig. 4. Modelo propuesto de la unión cooperativa entre el ADN y la quinolona en la inhibición de la ADN girasa [12].

intercalación en el ADN, unión al hueco menor del ADN y quelación no específica.

La enzima ADN girasa actúa a través del enrollamiento de la doble cadena del ADN alrededor de sí mismo, ruptura del ADN en las dos hebras con la formación de un segmento de apertura a través del cual se pasa el ADN sin cortar y finalmente reunión del ADN [21-23]. La unión de ATP a Gyr B captura el segmento de ADN sin cortar y lo dirige a través de la apertura, seguido por la hidrólisis de ATP para permitir que la enzima regrese a su conformación inicial [24, 25]. En un ciclo de reacción de superenrollamiento, la ADN girasa une e hidroliza dos moléculas de ATP, con una velocidad intrínseca de hidrólisis de ATP generalmente baja, donde la actividad de

ATPasa es estimulada por la presencia de ADN [26]. Las moléculas de quinolona, unidas en complejos tetraméricos (Fig. 5), se acoplan a las hebras de ADN y a determinados puntos de las subunidades (A y B) de la girasa y estabilizan el complejo ternario de girasa ADN-fluoroquinolona-ADN, impidiendo su reversión y poniendo en marcha una serie de procesos, incluso hoy todavía desconocidos, que desembocan en la lisis celular.

Existen estudios estructurales para explicar la acción de las quinolonas, donde se propone que se requiere una interacción directa entre la quinolona y el ADN de cadena doble o sencilla. Uno de los modelos sugiere que el Mg^{2+} juega un papel importante en la unión de la quinolona al complejo ADN-girasa [27], existiendo una interacción electrostática y/o covalente entre el ion Mg^{2+} y una molécula de quinolona junto con los grupos fosfato y las bases del ADN. En otros estudios, se sugiere también la presencia de puentes de hidrógeno y/o atracciones electrostáticas entre el flúor del C-6 y el sustituyente del C-7 de la quinolona y el receptor o enzima particularmente en algunos aminoácidos como serina 83 y/o ácido aspártico 87. También se propone este tipo de interacciones con los grupos fosfatos del ADN. Además existen interacciones de apilamiento $\pi-\pi$ e interacciones hidrofóbicas entre los núcleos heterocíclicos de las quinolonas (Fig. 6) [28].

En la literatura se reporta que hay una relación entre la constante de asociación del complejo ternario ADN-quinolona- Mg^{2+} y la actividad tóxica de la girasa. Los autores no sugieren un modelo estructural para el complejo ternario, indicando que los datos obtenidos no muestran un mecanismo de acción basado en una intercalación por parte de la fluoroquinolona dentro del ADN [29]. Estos resultados concuerdan con las mediciones de dicroísmo circular y dicroísmo lineal de un sistema constituido por ADN-norfloxacin, donde la quinolona está significativamente inclinada con respecto al eje del ADN [30].

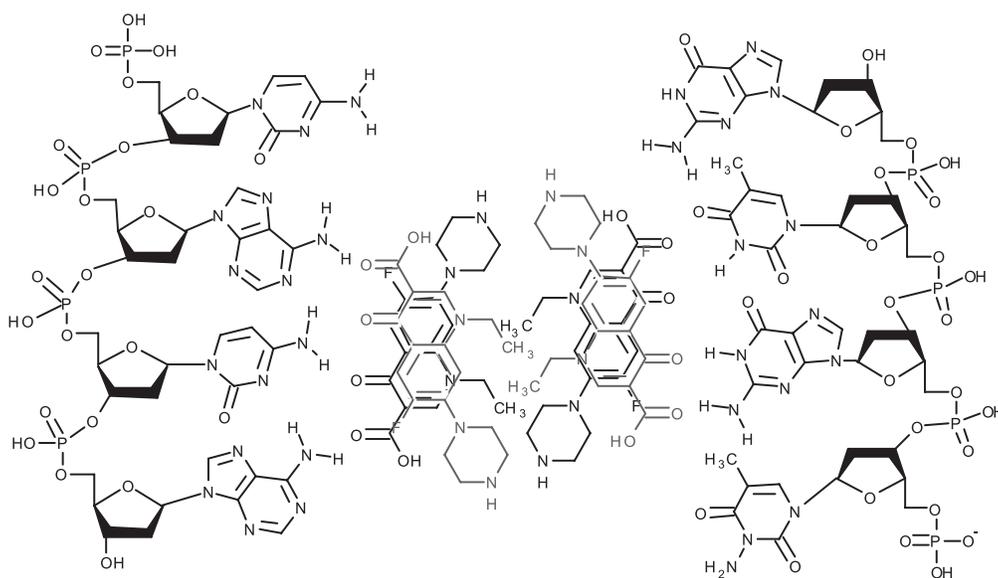


Fig. 5. Modelo propuesto de la interacción de las quinolonas consigo mismas y con el sitio de unión (ADN) [12].

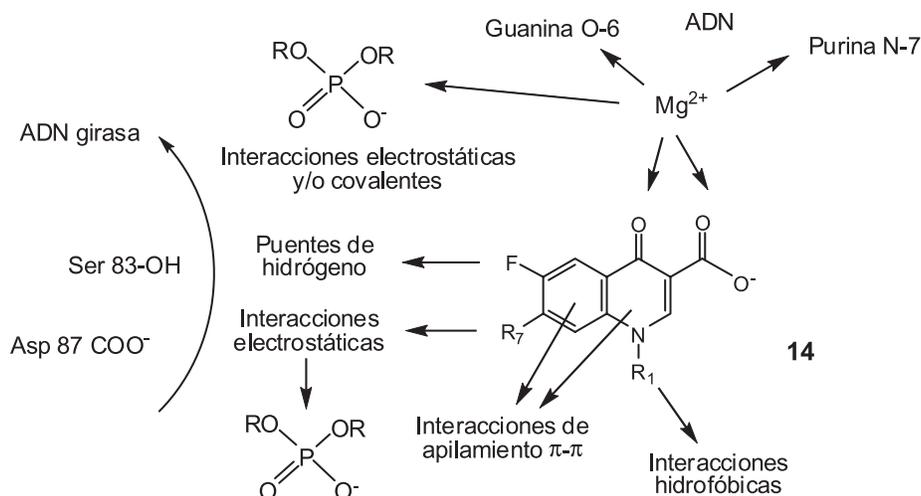


Fig. 6. Representación esquemática de la interacción entre la fluoroquinolona con la enzima ADN girasa y el ADN [28].

Mecanismos de resistencia de microorganismos a quinolonas fluoradas

Las mejoras tanto en actividad biológica como en propiedades farmacocinéticas aportadas por modificaciones en la estructura del ácido nalidíxico, convirtieron a la segunda generación de quinolonas (ciprofloxacina, ofloxacina, etc) en fármacos de primera línea frente a numerosas infecciones. Sin embargo, su amplio espectro, gran actividad y buena tolerabilidad propiciaron una amplia difusión de su uso, originándose la aparición de resistencia tanto en microorganismos Gram negativos, especialmente en *P. aeruginosa* o *E. coli*, y en microorganismos Gram positivos como *S. aureus* [31-36].

Un punto clave en la resistencia hacia la acción de fluoroquinolonas está relacionado con la ADN girasa, particularmente en su subunidad A. Mutaciones en los genes codificadores de las subunidades A de la girasa o, en menor medida, del área clave de unión en las subunidades B, alteran su estructura y disminuyen su afinidad con el fármaco [37, 38]. De este modo, serán necesarias mayores concentraciones de fármaco para conseguir un mismo efecto sobre la bacteria. La resistencia a quinolonas en microorganismos Gram negativos está básicamente vinculada a determinadas mutaciones en el gen Gyr A, que codifica la subunidad A de la girasa en una área conocida como QRDR (región determinante de resistencia a la quinolona). Aunque se han descrito numerosas mutaciones con diferente repercusión en la disminución de la sensibilidad a las quinolonas, hay dos mutaciones básicas implicadas en la resistencia: serina 83 por triptófano y ácido aspártico 87 por asparagina en *E. coli*, o en las posiciones equivalentes en otros microorganismos [39, 40]. En cepas con alto grado de resistencia se ha observado que se tienen mutaciones en otros puntos de Gyr A, adicionales a las mutaciones iniciales (Ser-83 y Asp-87), en diversas posiciones en la topoisomerasa IV (básicamente en Ser-80 y Glu-84) o con frecuencia en ambas localizaciones [41, 42]. Las mutaciones en las subunidades B

aparecen con frecuencia relativamente baja en cepas clínicas, originando además incrementos de resistencia moderados.

Una mutación en Gyr B es ácido aspártico 426 por asparagina, confiriendo resistencia tanto a quinolonas ácidas como anfotéricas. Otra mutación es lisina 447 por ácido glutámico, que confiere resistencia a quinolonas ácidas y una ligera hipersensibilidad a quinolonas anfotéricas [43, 44]. Una posible explicación de la sensibilidad hacia la quinolona puede ser que las mutaciones cambian la conformación de QRDR indirectamente a través de la cadena de péptidos o a través de efectos en el ciclo de reacción de la enzima, existiendo también la posibilidad de que estos residuos de Gyr B estén directamente involucrados en la cavidad de unión de la quinolona, incluyendo también la región de QRDR de Gyr A [45-47]. No obstante, cada vez se da más importancia a la presencia de un mecanismo de flujo activo capaz de expulsar el antimicrobiano de la célula bacteriana, impidiéndose de este modo alcanzar las concentraciones suficientes para dañar irreversiblemente su ADN [48-51]. Se ha demostrado como un mecanismo de gran importancia en microorganismos Gram positivos que afecta de forma muy distinta a diversas fluoroquinolonas, en función de su grado de hidrofobicidad o de su estructura molecular.

Los principales mecanismos de resistencia en microorganismos son cinco: alteración de la Gyr A, alteración de la Gyr B, alteración de la topoisomerasa IV [52], dificultad de paso del antibiótico a través de la pared bacteriana y exceso de salida por alteración de los mecanismos de flujo externo. Todos ellos, por mutaciones de los distintos genes que codifican la estructura o función correspondiente, que reciben el nombre de la estructura modificada, o de los selectores con que se han detectado (Gyr A, Gyr B, parC y parE para las topoisomerasas; norC, nalB, nalD, nfxB, nfxC, marA y sox para las alteraciones de las proteínas de membrana externa como ompF y ompC; y mexA, mexB, mexC, mexD, oprK, oprM y norA para las alteraciones en el flujo externo).

La mayoría de las resistencias a ciertos microorganismos, *E. coli*, *Salmonella*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *C. jejuni* y *N. Gonorrhoeae*, se deben a alteraciones de la Gyr A, siendo secundarios los otros mecanismos, aunque pueden coexistir más de uno y ser múltiples. En el caso de *S. aureus* y *S. pneumoniae* son más importantes las alteraciones en la topoisomerasa IV, mientras que para *P. aeruginosa*, *S. aureus* y *C. jejuni* también es importante un aumento del flujo externo [53-55].

Síntesis de fluoroquinolonas

Las primeras síntesis de quinolonas se realizaron usando la reacción de Gould-Jacobs utilizando como materia prima una anilina clorada [56, 57]. Más adelante se reportó la aplicación de esta reacción a la síntesis de fluoroquinolonas partiendo de anilinas fluoradas [7, 58]. En esta síntesis (Fig. 7) se hace reaccionar una anilina sustituida con etoximetileno malonato de dietilo y esto resulta en una secuencia de adición y eliminación para generar un acrilato **17** que al calentarse a elevadas temperaturas produce una hidroxiquinolona cíclica **18**. Este compuesto se hace reaccionar con un agente alquilante y posteriormente se hidroliza fácilmente para producir el ácido correspondiente. Existen en la literatura una gran cantidad de reportes en donde se utiliza esta secuencia para preparar fluoroquinolonas con diferentes sustituyentes [59-61].

En la metodología descrita por Grohe y Zeiler (Fig. 8) [62] se parte de un ácido benzoico sustituido **22** que se transforma fácilmente al benzilacetato de etilo **24** y se hace reaccionar con ortoformiato de trietilo para producir el etoxialqueno correspondiente **25** donde es posible sustituir el grupo etoxi por un grupo amino para producir el intermediario **26** que puede ser ciclado con una base fuerte generando el anillo de quinolona **27**. Este procedimiento fue originalmente propuesto por investigadores de industrias Bayer y permite la construcción de una gran variedad de fluoroquinolonas con *N*-sustituyentes de tipo arilo, alquilo y cicloalquilo. Por esto, continúa siendo vigente y ampliamente utilizado aún en nuestros días [63-66].

Una modificación descrita por Grohe y Heitzer (Fig. 9) [67] simplifica esta metodología y permite la conversión de la enamina **29** al intermediario **30** de una manera más fácil y rápida.

Existen algunos reportes en la literatura sobre la síntesis de fluoroquinolonas utilizando un proceso de ciclación carbonílica (Fig. 10) [68] en presencia de catalizadores como Pd, donde se genera un intermediario acil-Paladio **32** que reacciona con nucleófilos débiles para producir el correspondiente cetoéster **33**. Por medio de esta metodología se pueden generar fluoroquinolonas sustituidas en la posición dos, las cuales no se obtienen por otras metodologías.

Es posible preparar quinolonas por el procedimiento reportado por Miyamoto y cols (Fig. 11) [69, 70]. El anillo heterocíclico de piridina tiene la propiedad que los átomos de halógenos en las posiciones 2 y 6 son muy reactivos. En este caso, se reacciona 2,6-dicloropiridina con una amina cíclica

para dar un intermediario **35** que puede entonces ser ciclado e hidrolizado a la fluoroquinolona **39**.

A pesar de la gran importancia en medicina que tienen las fluoroquinolonas solamente se han desarrollado algunas metodologías para prepararlas. En esta revisión se describen los procedimientos más utilizados para sintetizar las quinolonas que tienen aplicación en la práctica clínica. Algunas quinolonas tricíclicas se han sintetizado utilizando las mismas metodologías antes descritas, partiendo de una estructura que ya contiene el anillo extra o construyendo el anillo de quinolona con sustituyentes que puedan llevar a cabo reacciones de ciclación (Fig. 12) [71-76].

Existen muchos reportes en la literatura sobre la síntesis de fluoroquinolonas, sin embargo, en la gran mayoría solo se

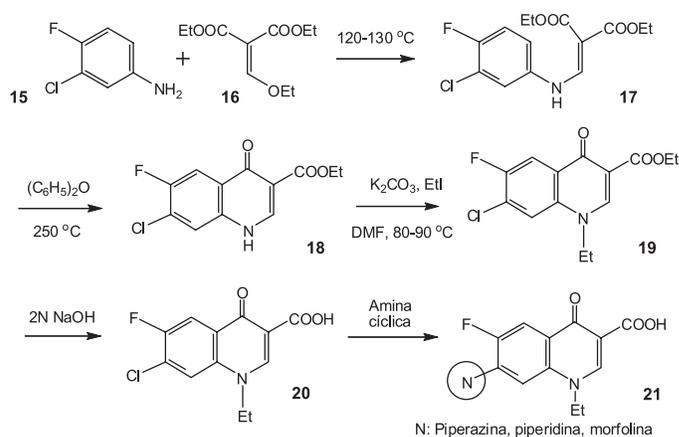


Fig. 7. Síntesis reportada por Koga [7].

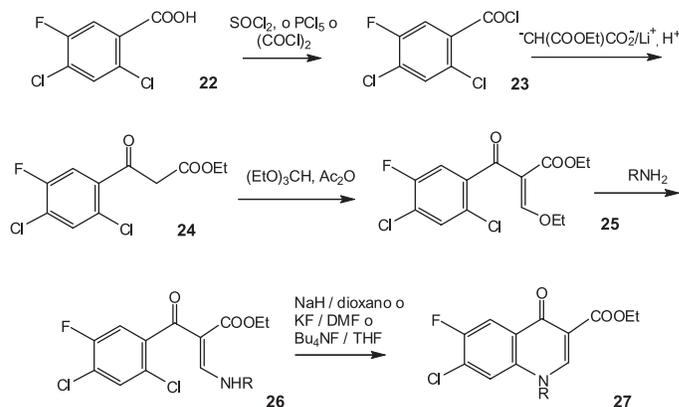


Fig. 8. Síntesis reportada por Grohe y Zeiler [62].

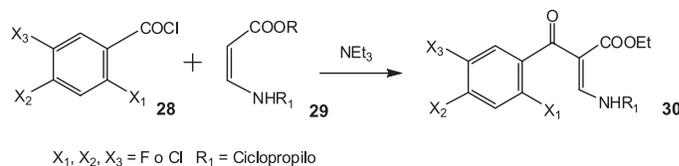


Fig. 9. Síntesis reportada por Grohe y Heitzer [67].

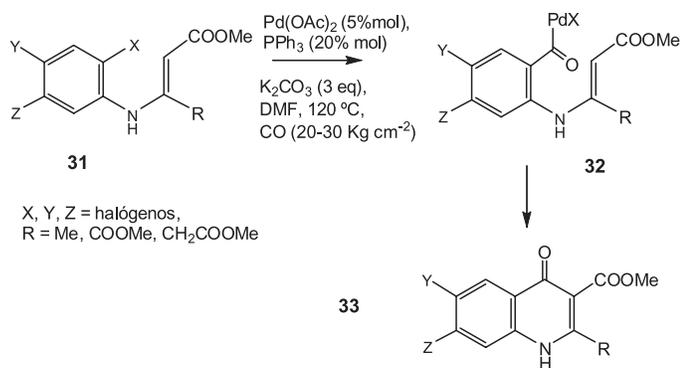


Fig. 10. Síntesis reportada por Torii [68].

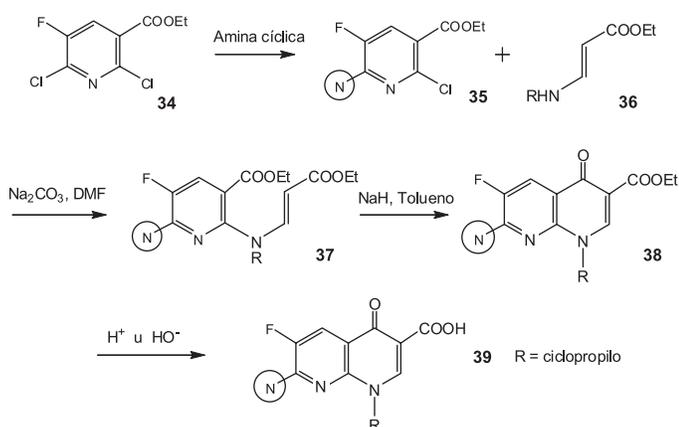


Fig. 11. Síntesis reportada por Miyamoto y cols. [69, 70].

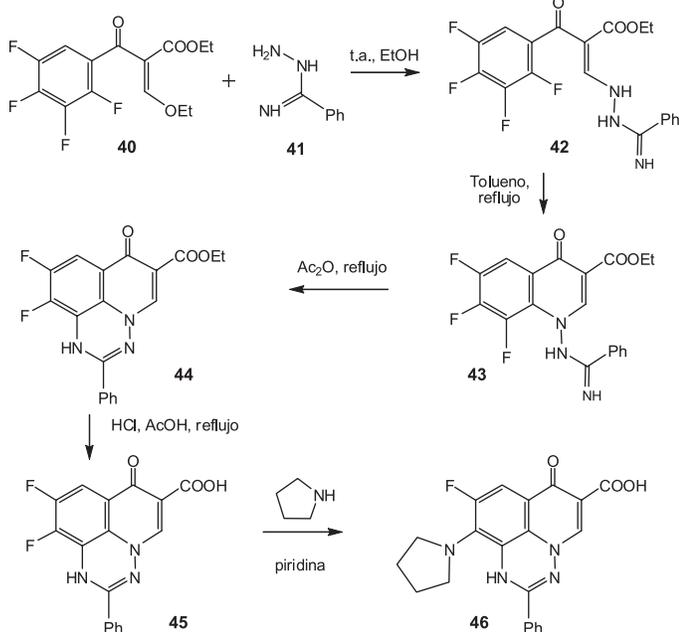


Fig. 12. Síntesis de análogos tricíclicos de fluoroquinolonas [71].

reporta la sustitución nucleofílica de átomos de halógenos en el anillo de la quinolona, por aminas cíclicas [77-81].

Reacciones químicas importantes para las propiedades medicinales de las quinolonas

Quelación

Las estructuras de ácidos carboxílicos forman quelatos con iones metálicos, en soluciones que van de condiciones neutras a básicas [82, 83]. La proximidad del grupo carbonilo en la posición 4, origina una fuerte donación electrónica que permite la formación de un anillo (Fig. 13). La quelación ocurre con iones metálicos como: aluminio (III), magnesio (II), calcio (II), hierro (II y III) y cobre (II), originándose complejos insolubles en agua, que pueden interferir con los niveles en sangre del fármaco cuando se ha administrado oralmente. Esto no solamente produce inconvenientes para la formulación, si no que también se forman interacciones fármaco-alimento o interacciones fármaco-fármaco, que llevan a niveles pobres de quinolona en sangre, particularmente cuando se administra la fluoroquinolona junto con antiácidos, siendo este problema aligerado cuando la administración del medicamento es en un medio ácido.

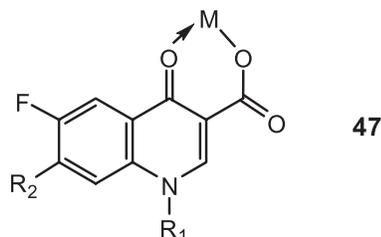


Fig. 13. Quelato de fluoroquinolona con metales [82].

Carácter ácido-base

Aún cuando la primera generación de quinolonas fueron ácidas con un amplio carácter hidrofóbico, en el presente un gran número de quinolonas utilizadas como medicamentos son sustancias anfotéricas que tienen una mejora en su hidrofiliidad. La presencia de dos sitios susceptibles de ser protonados en la estructura química de la ciprofloxacina, influye en las propiedades fisicoquímicas de las quinolonas, como son la solubilidad y el coeficiente de partición del fármaco bajo diferentes condiciones de pH [84].

En la Fig. 14 se muestra a la ciprofloxacina **51**, donde se observa que a pH alcalino, la quinolona se encuentra en forma de carboxilato **50**, mientras que a pH ácido se protona el grupo amino **48**, permitiendo en ambos casos presentar una razonable solubilidad en agua. A pH neutro cercano a su punto isoelectrónico, la quinolona muestra dos estructuras en equilibrio. Una es la forma zwitterión **49**, estructura que es responsable de la solubilidad que el compuesto puede presentar bajo esas

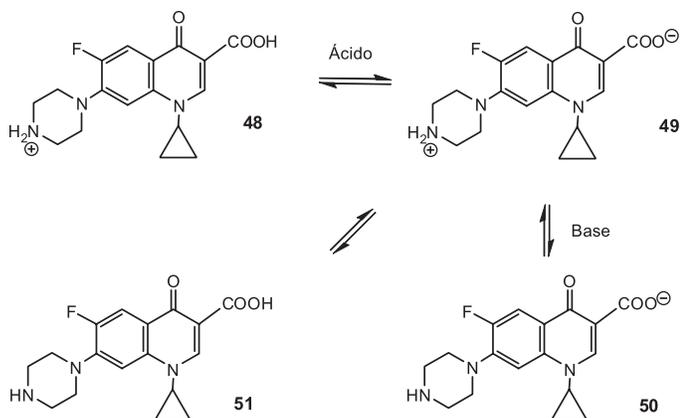


Fig. 14. Especies predominantes de ciprofloxacin en solución al cambiar el pH [84].

condiciones y la forma no ionizada **51**, que es la estructura que es mejor absorbida.

La relevancia de las estructuras mencionadas es que las quinolonas entran a los tejidos y a casi todas las células bacterianas a través de una combinación de absorción pasiva y canales de flujo [85-87]. Es decir, las fluoroquinolonas deben de cruzar a través de las membranas citoplasmáticas para alcanzar su objetivo que es la topoisomerasa. En la Fig. 15 [85] se observa que cuando la ofloxacin se encuentra a un pH 7.5 el compuesto muestra su más alta permeabilidad a través de la

membrana de fosfolípido teniendo un log P en un intervalo de -0.3 a 1.8, mientras que bajo condiciones ácidas asume un cierto carácter hidrofílico que resulta en una baja penetración a través de la membrana. A bajo pH no es posible la formación del complejo con Mg²⁺ debido a que se encuentra protonado el grupo carboxilato. Como resultado, el fármaco no puede difundirse a través de los canales porina. Existiendo en el interior de la membrana una mayor concentración de iones Mg²⁺ que evita que exista un retorno del fármaco hacia afuera de ella, permitiendo una acumulación de ofloxacin en el interior de la membrana.

Fotoquímica

Las fluoroquinolonas presentan un cierto riesgo de provocar reacciones de fototoxicidad, lo que hace recomendable evitar la exposición al sol de los pacientes tratados durante periodos largos [88-90]. Las primeras quinolonas utilizadas en la práctica clínica, como el ácido nalidíxico no contienen un átomo de halógeno en C-6 y una amina heterocíclica en el C-7, experimentan reacciones como descarboxilación, oxidación y/o dimerización [91]. Muchas quinolonas, particularmente aquellas con sustituyentes halógenos, absorben luz en la región de 350 a 425 nm y son transformadas en estados singuletes o tripletes. La distribución de productos en la fotodescomposición depende de las características del medio y de la estructura molecular de la fluoroquinolona (Fig. 16).

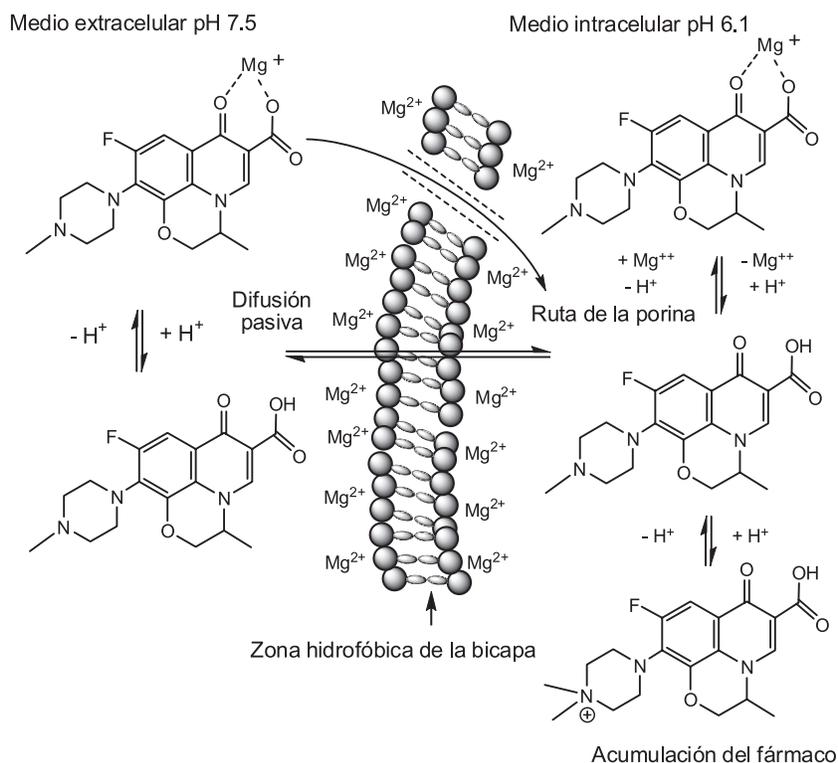


Fig. 15. Esquematación del mecanismo de entrada a las células de la ofloxacin [85].

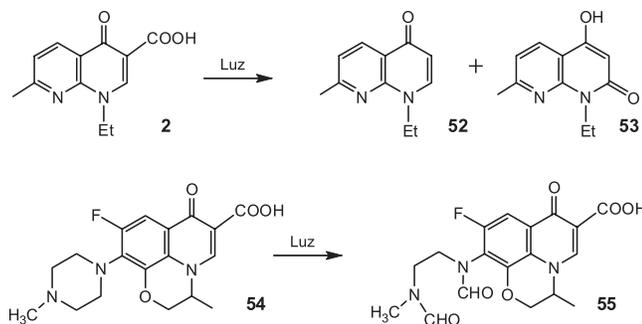
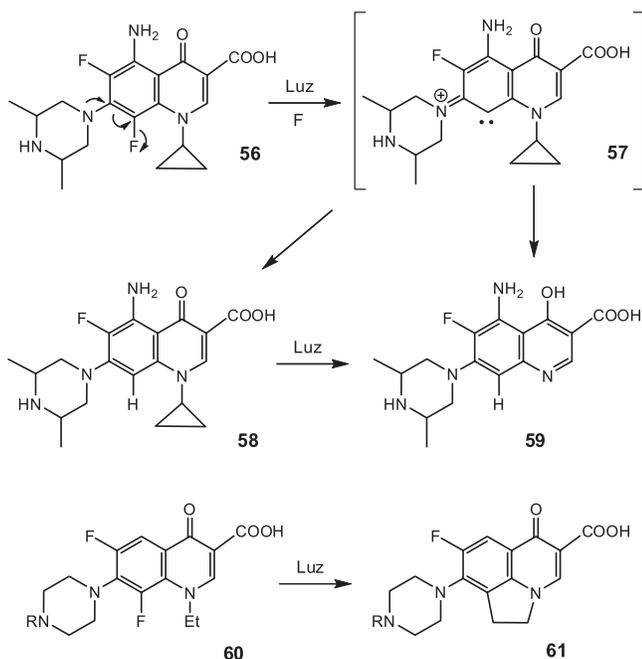


Fig. 16. Fotoquímica del ácido nalidíxico y la ofloxacina [92].

Fig. 17. Fotólisis de esparfloxacin y quinolonas *N*-etiladas [93].

Compuesto	R	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>
a	C ₂ H ₅	0.13	0.50	0.25
b	CH ₂ c-Pr	0.50	4.00	1.00
c	CH ₂ Ph	0.25	0.50	0.50
d	CH(CH ₃) ₂	0.50	1.00	1.00
e	C(CH ₃) ₃	0.06	0.50	0.06
f	c-Pr	0.03	0.13	0.13
g	c-Bu	0.13	1.00	0.50
h	Ph-4F	0.05	0.39	0.20
i		2.00	63.0	8.00

Fig. 18. Actividad antibacteriana (CMI, µg/mL) de quinolonas con diferentes sustituyentes en la posición N-1 [94].

Para casos como la ofloxacina **54**, levofloxacina y moxifloxacina que tienen un grupo electrodonador unido al C-8, la reacción más importante de la fotólisis es la ruptura oxidativa del anillo de piperazina, estando favorecida esta reacción en condiciones ácidas (Fig. 16) [92].

También se puede generar un carbeno en el C-8, a través de la ruptura heterolítica del enlace C-F, que puede originar la pérdida total del sustituyente C-8 (Fig. 17). Además se pueden formar radicales en el C-8 por la ruptura homolítica del enlace C-F que reaccionan con el sustituyente N-1, originando la formación de un anillo carbocíclico [93]. El flúor del C-6 o C-8 puede ser reemplazado por un grupo hidroxilo o un hidrógeno.

Variaciones estructurales y actividad biológica

Los estudios de SAR indican que la potencia antibacteriana está fuertemente influenciada por el tamaño, propiedades electrónicas y espaciales del sustituyente de la posición 1 de la fluoroquinolona (Fig. 18) [94]. Estudios de relaciones estructura-actividad realizados con un grupo de derivados alquílicos R en N-1 sugieren que una longitud óptima para el sustituyente alquílico es de 4.2 Å, siendo para el grupo etilo de 4.1 Å. Sin embargo, existen otros factores como donación electrónica π o habilidad de conjugación que también influyen en la actividad biológica de las quinolonas.

En general, los sustituyentes encontrados en el nitrógeno del anillo quinolónico son: etilo [95], ciclopropilo [96], *p*-fluorofenil o *p*-hidroxifenil. Observándose que el mejor sustituyente dentro del grupo de los alifáticos es el etilo. Incremento de la cadena, ramificaciones y grupos polares ocasionan una disminución en la actividad biológica. En general, las quinolonas con un grupo *N*-etilo son ligeramente más potentes que aquellas que contienen grupos como: N-CH₂-CH₂F o N-NHCH₃ o N-OCH₃. Dentro de las quinolonas N-1 aril, los compuestos más activos contienen un grupo fenil sustituido por un átomo de flúor en la posición 4 o dos átomos de flúor en las posiciones 2 y 4.

Los estudios de relación estructura-actividad realizados en las fluoroquinolonas han indicado el gran impacto en potencia, espectro, solubilidad y farmacocinética que tiene la naturaleza del sustituyente de la posición 7. En general, quinolonas que tienen un grupo lineal o pequeño (H, Cl, CH₃, NHCH₂CH₂NH₂, NHCH₃) no tienen actividad biológica [97]. Fluoroquinolonas con anillos heterocíclicos de 4, 5 o 6 miembros sustituidos o no sustituidos son antibacterianos muy potentes. La gran mayoría de las quinolonas utilizadas clínicamente poseen ciclos de piperazina o pirrolidina sustituida o no sustituida.

Se ha encontrado que en la serie de compuestos conteniendo N-1 4'-fluorofenil o N-1 2'4'-difluorofenil, la actividad contra microorganismos Gram negativos incrementa en el orden 4-metilpiperazinil \leq piperazinil < 3-aminopirrolidinil, mientras que la actividad frente a Gram positivos sigue la secuencia piperazinil \leq 4-metilpiperazinil < 3-aminopirrolidinil [98].

Los compuestos que contienen el grupo 3-aminopirrolidina en la posición 7 son más potentes contra bacterias Gram

positivas comparados a los análogos de piperazina, existiendo la posibilidad que las diferencias en actividad biológica entre anillos de cinco y seis miembros sea debido a diferencias conformacionales, ya que la pirrolidina tiene varios grados de libertad de rotación en comparación al nitrógeno de la piperazina [98].

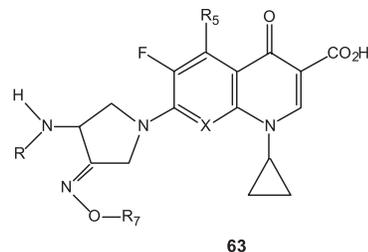
Las actividades antibacterianas *in vitro* de fluoroquinolonas conteniendo 4'-N-alquilpiperazinil en la posición 7, generalmente decrecen conforme el tamaño del sustituyente alquílico aumenta [99]. En general, el reemplazo del nitrógeno básico de la piperazina por un átomo no básico resulta en un incremento en actividad contra bacterias Gram positivas y una ligera disminución contra bacterias Gram negativas; existen ejemplos de morfolina, tiomorfolina y piperidina. También, se han sintetizado y evaluado las actividades antibacterianas de fluoroquinolonas conteniendo un anillo de piperazina o pirrolidina con una oxima u oxima substituida (Fig. 19) [100, 101].

Estos compuestos presentaron una fuerte actividad contra bacterias Gram positivas como *S. aureus*, *S. epidermis*, *B. subtilis*, con valores de CMI cercanos o menores de 0.016 $\mu\text{g}/\text{mL}$. En particular, ellos fueron altamente potentes contra *S. aureus* resistente a meticilina (MRSA, con un incremento de 4 a 256 veces comparado a la ciprofloxacina) y *S. epidermis* resistente a meticilina (MRSE, con un incremento de 8 a 256 veces comparado a ciprofloxacina).

En la literatura se ha descrito la preparación y evaluación de ciertos derivados de norfloxacina con un grupo 4-hidroxi-aminoalquil en la piperazina. Muchos de estos compuestos presentaron mejor actividad frente a *S. aureus*, resistente a meticilina, que la norfloxacina y tuvieron una citotoxicidad selectiva contra líneas celulares de cáncer renal [102].

Para contrarrestar la resistencia presentada por cepas de *S. aureus* ocasionada por el sobreexpresamiento de *Nor A* y la mutación en la región QRDR de la topoisomerasa IV, se han preparado nuevos antibióticos que son dímeros de fluoroquinolonas unidos por la piperazina (Fig. 20) [103].

La comparación en actividad biológica con los monómeros indicó que tanto el ligante como el monómero utilizado modulan la actividad antibacteriana de los dímeros, las cepas utilizadas presentaron diferentes niveles de resistencia a fluoroquinolonas. Los dímeros simétricos de ciprofloxacina y norfloxacina mantuvieron su actividad biológica tanto con SA 1199-3 como SA 1199B, lo cual indicó que los dímeros no son sustratos para *Nor A* y no son afectados por la sustitución A116E en la topoisomerasa IV. La comparación directa de la ciprofloxacina y la norfloxacina a sus dímeros simétricos contra la cepa silvestre SA 1199 muestra que la potencia antibacteriana es mayor para el dímero de ciprofloxacina conteniendo el ligante *trans*-butenil mientras que el ligante *p*-xilenil ocasiona que el dímero de norfloxacina sea más potente. Recientemente se ha reportado que varias arilpiperazinilfluoroquinolonas exhiben actividad inhibitoria contra la replicación del HIV-1. Las relaciones estructura-actividad revelan que la hidrofobicidad del sustituyente de la posición del C-8 de las arilpiperazinilfluoroquinolonas, juega un papel importante para la potencia antiviral; por ejemplo, la actividad inhibitoria del análogo de difluorometóxi es mucho

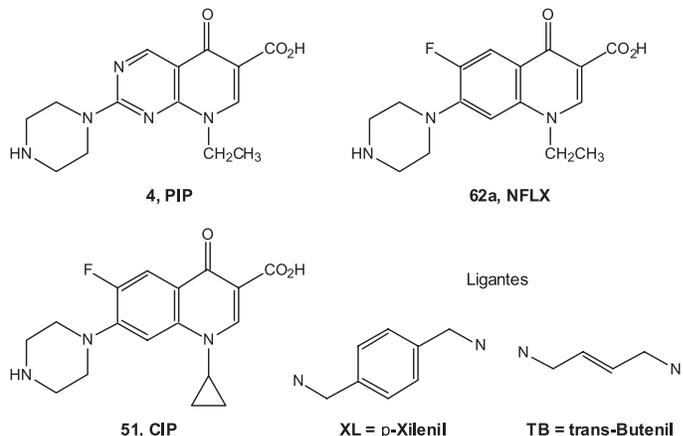


63

a	b	c	d	e	f	g	h
X=CH	X=CCl	X=CF	X=CF	X=CF	X=CF	X=CF	X=N
R ₅ =H	R ₅ =H	R ₅ =H	R ₅ =H	R ₅ =H	R ₅ =NH ₂	R ₅ =H	R ₅ =H
R ₇ =CH ₃	R ₇ =CH ₃	R ₇ =CH ₃	R ₇ =C ₂ H ₄ F	R ₇ =Alil	R ₇ =H	R ₇ =CH ₃	R ₇ =CH ₃

Fig. 19. Estructura de la serie de fluoroquinolonas conteniendo un alquiloxima en el anillo de pirrolidina [100, 101].

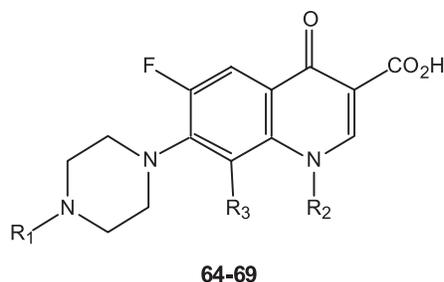
mayor que el análogo metóxi, y la del análogo del trifluorometil es superior a la del análogo del difluorometóxi (Fig. 21) [104]. La introducción de un sustituyente arílico dentro del anillo de la piperazina induce que la fluoroquinolona presente actividad antiviral (Fig. 22) [105], la potencia anti-HIV depende del sustituyente del anillo aromático, ya que el compuesto fenilo **70e** es más activo que los compuestos piridínico **72** y pirimidico **71**, respectivamente, por tener un bajo nivel de citotoxicidad.

Cepas de *S. aureus*, (CMI, $\mu\text{g}/\text{mL}$)

Compuesto	SA 1199	SA 1199-3	SA 1199B	MRSA 494	GISA 992
51 (CIP)	0.125	1	8	0.5	32
62a (NFLX)	0.5	4	>16	2	>16
CIP-XL-CIP	0.125	0.125	0.125	0.125	4
CIP-TB-CIP	0.03	0.06	0.03	0.125	>16
NFLX-XL-NFLX	0.06	0.06	1	0.06	4
NFLX-TB-NFLX	0.25	0.125	0.125	0.125	>16
CIP-XL-NFLX	<0.03	<0.03	0.06	<0.03	4
4 (PIP)	>16	>16	>16	>16	>16
CIP-XL-PIP	<0.03	<0.03	<0.03	0.125	2
PIP-XL-PIP	0.5	0.5	4	2	8

SA-1199, tipo silvestre; SA-1199-3, mutante derivado de SA-1199 que induce el sobreexpresamiento de *Nor A*, sin presentar mutaciones en girasa o topoisomerasa IV; SA-1199B, sobreexpresa *Nor A* y contiene una sustitución en la subunidad A de la topoisomerasa IV (A116); MRSA 494, SA resistente a meticilina; GISA 992, SA insensible a vancomicina.

Fig. 20. Actividad antibacteriana de dímeros simétricos y asimétricos contra cepas de *S. aureus* resistentes a la fluoroquinolona [103].



R ₁	R ₂	R ₃					
		-CF ₃			-OCHF ₂		
		No.	IC ₅₀ (μM)	CC ₅₀ (μM)	No.	IC ₅₀ (μM)	CC ₅₀ (μM)
2-Metoxifenil	-CH ₃	64a	0.054	0.50	67a	0.35	11
2-Metoxifenil	-C ₂ H ₅	64b	0.11	0.75	67b	0.22	8.3
2-Metoxifenil	Ciclopropil	64c	0.069	0.87	67c	0.56	12
2-Pirimidinil	-CH ₃	65a	0.049	0.89	68a	0.31	13
2-Pirimidinil	-C ₂ H ₅	65b	0.095	1.5	68b	0.47	20
2-Pirimidinil	Ciclopropil	65c	0.19	5.2	68c	3.70	21
2-Piridil	-CH ₃	66a	0.014	0.22	69a	0.24	9.2
2-Piridil	-C ₂ H ₅	66b	0.026	0.37	69b	0.89	4.1
2-Piridil	Ciclopropil	66c	0.065	1.40	69c	0.49	9.2

Actividades de los compuestos contra la replicación del HIV-1III_B basados en la inhibición del virus causante de la citopatogenicidad en células MT-4. Las citotoxicidades de los compuestos fueron evaluados en paralelo y se basaron en la viabilidad de la simulación de células infectadas MT-4 por el método MTT.

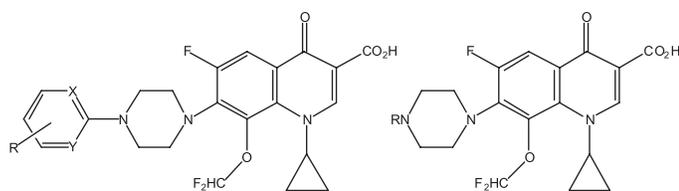
Fig. 21. Comparación de actividades anti-HIV entre los análogos de trifluorometil y difluorometóxi de arilpiperazinil fluoroquinolonas [104].

La introducción de un átomo de cloro en la posición 4 del anillo fenílico resulta en una significativa disminución en la potencia, pero para el caso del flúor esto no sucede. Tendencias similares son observadas para el compuesto con el sustituyente metóxido **70b** y su regio-isómero **70a**. Esta reducción en la potencia inhibitoria puede ser ocasionada por impedimento

estérico o la naturaleza electrostática de los sustituyentes. Resulta interesante observar que el compuesto con el grupo orto **67c** es más potente que los compuestos con los grupos en las posiciones *para* **70b** o *meta* **70a**.

Las actividades antibacterianas de fluoroquinolonas acopladas a estructuras biofosfonatadas han sido investigadas [106], debido a que los biofosfonatos se unen a iones metálicos y son absorbidos por los huesos. Este tipo de compuestos han sido usados para el tratamiento de osteoporosis y para reducir metástasis en el tratamiento de cáncer de seno. La ciprofloxacina presenta una amplia actividad bactericida que incluye patógenos como *S. aureus* y *P. aeruginosa*, ambas asociadas con osteomielitis.

Las nuevas fluoroquinolonas modificadas presentan un carbono localizado entre el nitrógeno de la piperazina y el carbono del biofosfonato. En la Fig. 23 se muestra la actividad antibacteriana de la ciprofloxacina junto con sus derivados biofosfonato éster y el ácido biofosfónico; ambos derivados retienen una buena actividad contra muchas bacterias Gram negativas, pero no contra bacterias Gram positivas.



Compuesto	X	Y	R	67c, 70-72		73, 74	
				IC ₅₀ (μM)*	CC ₅₀ (μM)*	IC ₅₀ (μM)*	CC ₅₀ (μM)*
67c	CH	CH	2-OCH ₃	0.11±0.04	9.9±0.8		
70a	CH	CH	3-OCH ₃	0.70±0.26	22±2		
70b	CH	CH	4-OCH ₃	0.60±0.24	17±2		
70c	CH	CH	4-Cl	0.48±0.35	5.8±3.7		
70d	CH	CH	4-F	0.059±0.011	5.7±1.9		
70e	CH	CH	H	0.63±0.008	8.4±3.4		
71	N	N	H	0.97±0.25	>40		
72	N	CH	H	0.25±0.04	15±2		
73	-	-	H	>60	>60		
74	-	-	CH ₃	>60	>60		

*Promedio ± desviación estándar de al menos tres experimentos independientes

Fig. 22. Actividades inhibitorias de los compuestos **67c, 70-74** [105].

Conclusiones

Los estudios sobre fluoroquinolonas se han enfocado al descubrimiento de compuestos con mayor actividad antimicro-

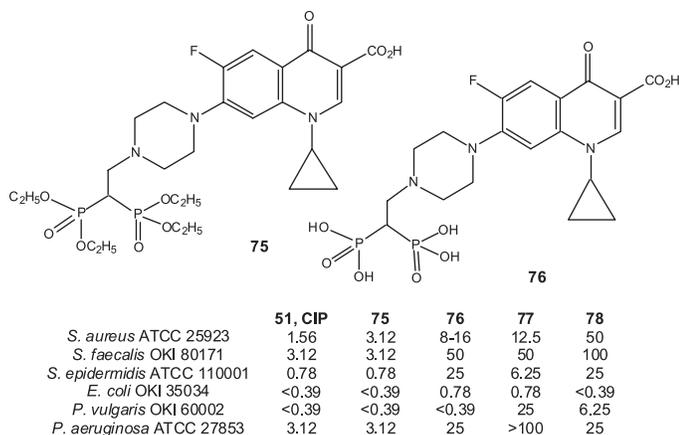


Fig. 23. Comparación de la CMI ($\mu\text{g/mL}$) de ciprofloxacina (**51**) y sus derivados bisfosfonoetil (**75**, **76**) y bisfosfonometil (**77**, **78**) [106].

biana, amplio espectro y con propiedades farmacocinéticas adecuadas para su uso en la medicina. Es necesario continuar estudiando las relaciones estructura-actividad de nuevas fluoroquinolonas para encontrar los parámetros físicos y químicos que ocasionan que estos compuestos sean más potentes y mejor distribuidos en sistemas biológicos. Las fluoroquinolonas representan uno de los grupos antibacterianos de mayor importancia, por lo que se debe continuar realizando investigación tanto desde el punto de vista farmacéutico, como microbiológico y clínico. A pesar de lo anterior, solamente existen unas cuantas rutas metodológicas para preparar fluoroquinolonas por lo que es necesario desarrollar nuevas estrategias de síntesis suficientemente sencillas y con una eficiencia tal para ser llevadas a la práctica.

Agradecimientos

Este trabajo de revisión fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), proyecto con clave: SEP-82585 y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a través del convenio C08-FAI-10-14.50.

Referencias

- Cecchetti, V.; Fravolini, A.; Fringuelli, R.; Mascellani, G.; Pagella, P.; Palmioli, M.; Segre, G.; Terni, P. *J. Med. Chem.* **1987**, *30*, 465-473.
- Chu, D.T.W.; Fernandes, P.B.; Pernet, A.G. *J. Med. Chem.* **1986**, *29*, 1531-1538.
- Chu, D.T.W.; Fernandes, P.B.; Claiborne, A.K.; Shen, L.; Pernet, A.G. *Drugs Exptl. Clin. Res.* **1988**, *14*, 379-383.
- Macinga, D.R.; Renick, P.J.; Makin, K.M.; Ellis, D.H.; Kreiner, A.A.; Lin, M.; Rupnik, K.J.; Kincaid, E.M.; Wallace, C.D.; Ledoussal, B.; Morris, T.W. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2003**, *47*, 2526-2537.
- Leshner, G.Y.; Froelich, E.J.; Gruett, M.D.; Bailey, J.H.; Brundage, P.R. *J. Med. Chem.* **1962**, *5*, 1063-1065.

- Matsumoto, J.; Minami, S. *J. Med. Chem.* **1975**, *18*, 74-79.
- Koga, H.; Itoh, A.; Murayama, S.; Suzue, S.; Irikura, T. *J. Med. Chem.* **1980**, *23*, 1358-1363.
- Neuman, M.; Esanu, A. *Drugs Exptl. Clin. Res.* **1988**, *14*, 385-391.
- Domagala, J.M.; Hanna, L.D.; Heifetz, C.L.; Huff, M.P.; Mich, T.F.; Sanchez, J.P.; Solomon, M. *J. Med. Chem.* **1986**, *29*, 394-404.
- Stein, G.E. *Pharmacotherapy* **1988**, *8*, 301-314.
- Chu, D.T.W.; Fernandes, P.B. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1989**, *33*, 131-135.
- Shen, L.L.; Mitscher, L.A.; Sharma, P.N.; O'Donnell, T.J.; Chu, D.T.W.; Cooper, C.S.; Rosen, T.; Pernet, A.G. *Biochemistry* **1989**, *28*, 3886-3894.
- Ball, P. *Rev. Infect. Dis.* **1989**, *11*, S1365-S1370.
- Christ, W.; Lehnert, T.; Ulbrich, B. *Rev. Infect. Dis.* **1988**, *10*, 5141-5146.
- Hooper, D.C. *Clin. Infect. Dis.* **2001**, *32*, S9-S15.
- Levine, C.; Hiasa, H.; Marians, K.J. *Biochim. Biophys. Acta* **1998**, *1400*, 29-43.
- Hooper, D.C. *Drug. Resist. Updates* **1999**, *2*, 38-55.
- Drlica, K. *Curr. Opin. Microbiol.* **1999**, *2*, 504-508.
- Bhanot, S.K.; Singh, M.; Chatterjee, N.R. *Curr. Pharm. Des.* **2001**, *7*, 311-335.
- Khodursky, A.B.; Cozzarelli, N.R. *J. Biol. Chem.* **1998**, *273*, 27668-27677.
- Reece, R.J.; Maxwell, A. *CRC Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* **1991**, *26*, 335-375.
- Wang, J.C. *Annu. Rev. Biochem.* **1996**, *65*, 635-692.
- Champoux, J.J. *Annu. Rev. Biochem.* **2001**, *70*, 369-413.
- Brino, L.; Urzhumtsev, A.; Mousli, M.; Bronner, C.; Mitschler, A.; Oudet, P.; Moras, D. *J. Biol. Chem.* **2000**, *275*, 9468-9475.
- Kampranis, S.C.; Bates, A.D.; Maxwell, A. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.* **1999**, *96*, 8414-8419.
- Williams, N.L.; Howells, A.J.; Maxwell, A. *J. Mol. Biol.* **2001**, *306*, 969-984.
- Lecomte, S.; Moreau, N.J.; Chenon, M.T. *Int. J. Pharm.* **1998**, *164*, 57-65.
- Llorente, B.; Leclerc, F.; Cedergren, R. *Bioorg. Med. Chem.* **1996**, *4*, 61-71.
- Sissi, C.; Andreolli, M.; Cecchetti, V.; Fravolini, A.; Gatto, B.; Palumbo, M. *Bioorg. Med. Chem.* **1998**, *6*, 1555-1561.
- Bailly, C.; Colson, P.; Houssier, C. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **1998**, *243*, 844-848.
- Yagüe, G.; Martínez, M.C.; Mora, B.; Alonso, M.A.; Gutiérrez, M.N.; Martínez, J.A.; Muñoz, J.L.; García, J.A.; Segovia, M. *J. Antimicrob. Chemother.* **2001**, *47*, 157-161.
- Yun, H.-J.; Min, Y.-H.; Lim, J.-A.; Kang, J.-W.; Kim, S.-Y.; Kim, M.-J.; Jeong, J.-H.; Choi, Y.-J.; Kwon, H.-J.; Jung, Y.-H.; Shim, M.-J.; Choi, E.-C. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2002**, *46*, 3071-3074.
- De Souza, N.J.; Gupte, S.V.; Deshpande, P.K.; Desai, V.N.; Bhawar, S.B.; Yeole, R.D.; Shukla, M.C.; Strahilevitz, J.; Hooper, D.C.; Bozdogan, B.; Appelbaum, P.C.; Jacobs, M.R.; Shetty, N.; Patel, M.V.; Jha, R.; Khorakiwala, H.F. *J. Med. Chem.* **2005**, *48*, 5232-5242.
- Strahilevitz, J.; Robicsek, A.; Hooper, D.C. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2006**, *50*, 600-606.
- Poirrel, L.; Pitout, J.D.D.; Calvo, L.; Rodríguez, J.M.; Church, D.; Nordmann, P. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2006**, *50*, 1525-1527.
- Vickers, A.A.; O'Neill, A.J.; Chopra, I. *J. Antimicrob. Chemother.* **2007**, *60*, 269-273.
- Willmott, C.J.; Maxwell, A. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1993**, *37*, 126-127.
- Minnick, M.F.; Wilson, Z.R.; Smitherman, L.S.; Samuels, D.S. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2003**, *47*, 383-386.

39. Cullen, M.E.; Wyke, A.W.; Kuroda, R.; Fisher, L.M. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1989**, 33, 886-894.
40. Yoshida, H.; Kojima, T.; Yamagishi, J.; Nakamura, S. *Mol. Gen. Genet.* **1988**, 211, 1-7.
41. Hooper, D.C. *Emerg. Infect. Dis.* **2001**, 7, 337-341.
42. Hiasa, H. *Biochemistry* **2002**, 41, 11779-11785.
43. Yamagishi, J.; Furutani, Y.; Inoue, S.; Ohue, T.; Nakamura, S.; Shimizu, M. *J. Bacteriol.* **1981**, 148, 450-458.
44. Yamagishi, J.; Yoshida, H.; Yamayoshi, M.; Nakamura, S. *Mol. Gen. Genet.* **1986**, 204, 367-373.
45. Heddle, J.; Maxwell, A. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2002**, 46, 1805-1815.
46. Yoshida, H.; Bogaki, M.; Nakamura, M.; Yamanaka, L.M.; Nakamura, S. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1991**, 35, 1647-1650.
47. Yoshida, H.; Nakamura, M.; Bogaki, M.; Ito, H.; Kojima, T.; Hattori, H.; Nakamura, S. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1993**, 37, 839-845.
48. Markham, P.N.; Neyfakh, A.A. *Curr. Opin. Microbiol.* **2001**, 4, 509-514.
49. Poole, K. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2000**, 44, 2595-2599.
50. Raherison, S.; González, P.; Renaudin, H.; Charron, A.; Bébéar, C.; Bébéar, C.M. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2002**, 46, 672-679.
51. Turkmani, A.; Psaroulaki, A.; Christidou, A.; Samoilis, G.; Abu Mourad, T.; Tabaa, D.; Tselentis, Y. *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.* **2007**, 59, 447-451.
52. Poole, K. *Antimicrob. Agents Chemother.* **2000**, 44, 2233-2241.
53. Hooper, D.C. *Clin. Infect. Dis.* **1998**, 27, S54-S63.
54. Yu, J.L.; Grinius, L.; Hooper, D.C. *J. Bacteriol.* **2002**, 184, 1370-1377.
55. Kaatz, G.W.; Seo, S.M. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1997**, 41, 2733-2737.
56. Gould, R., Jr.; Jacobs, W.A. *J. Am. Chem. Soc.* **1939**, 61, 2890-2895.
57. Price, C.C.; Roberts, R.M. *J. Am. Chem. Soc.* **1946**, 68, 1204-1208.
58. Leyva, E.; Monreal, E.; Hernández, A. *J. Fluorine Chem.* **1999**, 94, 7-10.
59. Kamal, A.; Devaiah, V.; Reddy, K.L.; Kumar, M.S. *Bioorg. Med. Chem.* **2005**, 13, 2021-2029.
60. Shindikar, A.V.; Viswanathan, C.L.; *Bioorg. Med. Chem.* **2005**, 15, 1803-1806.
61. Leyva, S.; Leyva, E. *Tetrahedron* **2007**, 63, 2093-2097.
62. Grohe, K.; Zeiler, H.J. (Bayer, A.G.), DE, 3,142,854 A1
63. Mustafa, M.; Abadelah, E.; Nazer, M.Z.; Okasha, S.F.; Calas, M.; Bompert, J.; Mion, P.; *Eur. J. Med. Chem.* **1998**, 33, 33-42.
64. Inagaki, H.; Miyauchi, S.; Miyauchi, R.N.; Kawato, H.C.; Ohki, H.; Matsuhashi, N.; Kawakami, K.; Takahashi, H.; Takemura, M. *J. Med. Chem.* **2003**, 46, 1005-1015.
65. Baker, W.R.; Cai, S.; Dimitroff, M.; Fang, L.; Huh, K.K.; Ryckman, D.R.; Shang, X.; Shwar, R.M.; Therrien, J.H. *J. Med. Chem.* **2004**, 47, 4693-4709.
66. Asahina, Y.; Iwase, K.; Iinuma, F.; Hosaka, M.; Ishizaki, T. *J. Med. Chem.* **2005**, 48, 3194-3202.
67. Grohe, K.; Heitzer, H. *Liebigs Ann. Chem.* **1987**, 29-37.
68. Torii, S.; Okumoto, H.; Xu, L, H. *Tetrahedron Lett.* **1990**, 31, 7175-7178.
69. Miyamoto, T.; Egawa, H.; Shibamori, K.; Matsumoto, J. *J. Heterocycl. Chem.* **1987**, 24, 1333-1339.
70. Miyamoto, T.; Egawa, H.; Matsumoto, J. *Chem. Pharm. Bull.* **1987**, 35, 2280-2285.
71. Lipunova, G.N.; Nosova, E.V.; Mochul'skaya, N.N.; Andreiko, A.A.; Chasovskikh, O.M.; Charushin, V.N. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2002**, 51, 663-667.
72. Song, H.J.; Kim, M.Y.; Kang, S.B.; Chung, B.Y.; Kim, Y. *Heterocycles*, **1998**, 48, 103-112.
73. Duan, W.; Rangan, A.; Vankayalapati, H.; Kim, M.Y.; Zeng, Q.; Sun, D.; Han, H.; Fedoroff, O.Y.; Nishioka, D.; Rha, S.Y.; Izbicka, E.; Von Hoff, D.D.; Hurley, L.H. *Mol. Cancer Ther.* **2001**, 1, 103-120.
74. Mochul'skaya, N.N.; Sidorova, L.P.; Charushin, V.N. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2002**, 51, 2106-2108.
75. Kim, M.Y.; Na, Y.; Vankayalapati, H.; Gleason-Guzman, M.; Hurley, L.H. *J. Med. Chem.* **2003**, 46, 2958-2972.
76. Kim, M.Y.; Duan, W.; Gleason-Guzman, M.; Hurley, L.H. *J. Med. Chem.* **2003**, 46, 571-583.
77. Chen, Y.-L.; Fang, K.-C.; Sheu, J.-Y.; Hsu, S.-L.; Tzeng, C.-C. *J. Med. Chem.* **2001**, 44, 2374-2377.
78. Charushin, V.N.; Nosova, E.V.; Lipunova, G.N.; Kodees, M.I. *J. Fluorine Chem.* **2001**, 110, 25-30.
79. Hubschwerlen, C.; Specklin, J.-L.; Sigwalt, C.; Schroeder, S.; Locher, H.H. *Bioorg. Med. Chem.* **2003**, 11, 2313-2319.
80. Stanczak, A.; Ochocki, Z.; Martynowski, D.; Główska, M.; Nawrot, E. *Archiv. der Pharmazie*, **2003**, 336, 18-30.
81. Sriram D.; Yogeewari, P.; Basha, J.S.; Radha, D.R.; Nagaraja, V. *Bioorg. Med. Chem.* **2005**, 13, 5774-5778.
82. Lomaestro, B.M.; Bailie, G.R. *Drug. Saf.* **1995**, 12, 314-333.
83. Turel, I. *Coord. Chem. Rev.* **2002**, 232, 27-47.
84. Mitscher, L.A.; Sharma, P.N.; Chu, D.T.W.; Shen, L.L.; Pernet, A.G. *J. Med. Chem.* **1987**, 30, 2283-2286.
85. Fresta, M.; Guccione, S.; Beccari, A.R.; Furneri, P.M.; Puglisi, G. *Bioorg. Med. Chem.* **2002**, 10, 3871-3889.
86. Fresta, M.; Spadaro, A.; Cerniglia, G.; Roperio, I.M.; Puglisi, G.; Furneri, P.M. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1995**, 39, 1372-1375.
87. Nguyen, H.A.; Grellet, J.; Paillard, D.; Dubois, V.; Quentin, C.; Saux, M.-C. *J. Antimicrob. Chemother.* **2006**, 57, 883-890.
88. Ferguson J. *J. Photochem. Photobiol.* **1995**, 62, 954-958.
89. Ball, P.; Tillotson, G. *Drug. Saf.* **1995**, 13, 343-358.
90. Lietman, P.S. *Drugs* **1995**, 49, 159-163.
91. Vargas, F.; Rivas, C.; Machado, R. *J. Photochem. Photobiol. B* **1991**, 11, 81-85.
92. Fasani, E.; Profumo, A.; Albin, A. *Photochem. Photobiol.* **1998**, 68, 666-674.
93. Albin, A.; Monti, S. *Chem. Soc. Rev.* **2003**, 32, 238-250.
94. Bouzard, D.; Cesare, P. Di; Essiz, M.; Jacquet, J.P.; Remuzon, P.; Weber, A.; Oki, T.; Masuyoshi, M. *J. Med. Chem.* **1989**, 32, 537-542.
95. Albrecht, R. *Prog. Drug Res.* **1977**, 21, 9-104.
96. Wise, R.; Andrews, J.M.; Edwards, L. *Antimicrob. Agents Chemother.* **1983**, 23, 559-564.
97. Chu, D.T.W.; Fernandes, P.B.; Claiborne, A.K.; Pihuleac, E.; Nordeen, C.W.; Maleczka, R.E.; Pernet, A.G. *J. Med. Chem.* **1985**, 28, 1558-1564.
98. Chu, D.T.W.; Fernandes, P.B.; Maleczka, R.E.; Nordeen, C.W.; Pernet, A.G. *J. Med. Chem.* **1987**, 30, 504-509.
99. Taléns-Visconti, R.; Garrigues, T.M.; Cantón, E.; Freixas, J.; Martín-Villodre, A.; Plá-Delfina, J.M. *J. Pharm. Sci.* **2002**, 91, 2452-2464.
100. Hong, C.Y.; Kim, Y.K.; Lee, Y.H.; Kwak, J.H. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **1998**, 8, 221-226.
101. Foroumadi, A.; Emmami, S.; Haghighat, P.; Moshafi, M.H. *Pharm. Pharmacol. Commun.* **1999**, 5, 591-594.
102. Fang, K.C.; Chen, Y.L.; Sheu, J.Y.; Wang, T.C.; Tzeng, C.C. *J. Med. Chem.* **2000**, 43, 3809-3812.
103. Kerns, R.J.; Rybak, M.J.; Kaatz, G.W.; Vaka, F.; Cha, R.; Grucz, R.G.; Diwadkar, V.U. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2003**, 13, 2109-2112.
104. Ohmine, T.; Katsube, T.; Tsuzaki, Y.; Kazui, M.; Kobayashi, N.; Komai, T.; Hagihara, M.; Nishigaki, T.; Iwamoto, A.; Kimura, T.; Kashiwase, H.; Yamashita, M. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2002**, 12, 739-742.

105. Hagihara, M.; Kashiwase, H.; Katsube, T.; kimura, T.; Komai, T.; Momota, K.; Ohmine, T.; Nishigaki, T.; Kimura, S.; Shimada, K. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **1999**, *9*, 3063-3068.
106. Herczegh, P.; Buxton, T.B.; McPherson III, J.C.; Kovács-Kulyassa, A.; Brewer, P.D.; Sztaricskai, F.; Stroebel, G.G.; Plowman, K.M.; Farcasiu, D.; Hartmann, J.F. *J. Med. Chem.* **2002**, *45*, 2338-2341.

El Departamento de Química de la Universidad Autónoma Metropolitana. Celebrando Treinta Años (1977-2007)

Alberto Rojas Hernández e Ignacio González Martínez

Departamento de Química, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina. México 09340, D. F.

En diciembre de 1974 se funda la UAM y en la Unidad Iztapalapa la División de Ciencias Básicas e Ingeniería inicia sus actividades con el Departamento de Física y Química como uno de los primeros Departamentos. El doctor Leopoldo García Colín-Scherer (Foto 1, miembro de *El Colegio Nacional*) fue el primer Jefe de dicho Departamento, y él se encargó de contratar personal altamente calificado en ciencias físicas y químicas, para formar grupos de investigación que enseñaran la Física y la Química con una sólida formación científica. A pesar de los esfuerzos de tan ilustre personaje por mantener en un mismo departamento a físicos y químicos, los grupos académicos deciden que resultará más conveniente y fructífera la formación de los Departamentos de Física y Química para desarrollar las funciones de Investigación y Docencia. Es así que se fundó el Departamento de Química (DQ) en 1977, con la adscripción de las Áreas de Investigación de Catálisis (CAT), Físicoquímica de Superficies (FQS), Química Cuántica (QC) y Química Inorgánica (QI). El doctor Antonio Campero Celis (Foto 2) fungió como el primer Jefe de Departamento de Química. En la figura 1 se muestra cómo ha evolucionado la estructura académica del Departamento de Química durante estos treinta años y en la tabla 1 se enlistan los Jefes del Departamento de Química en toda su historia.

La estructura académica del DQ se fue conformando a manera de crear una planta académica que realizara su trabajo en disciplinas poco cultivadas en nuestro país en Departamentos, Facultades o Escuelas de Química de otras instituciones. Esto permitió alcanzar muy rápido una planta

académica, y estándares de productividad y de formación de recursos humanos, comparables a las de instituciones que ya estaban bien establecidas en 1974.

A continuación se hará un resumen de los logros obtenidos por los profesores de tiempo completo (PTC) del DQ en las tres funciones sustantivas durante los treinta años de vida de la entidad académica.

Investigación

En el modelo educativo de la UAM, la investigación es la función sustantiva que debe impulsar a las otras dos: la docencia y la preservación y difusión de la cultura. Es así que en la Unidad Iztapalapa y —por ende— en su División de Ciencias Básicas e Ingeniería (DCBI) se propuso instalar una planta académica capaz de realizar investigación científica sólida, mediante la formación y consolidación de grupos de trabajo que se conocen como Áreas de Investigación. En la figura 1 se muestra la evolución del DQ con respecto a las áreas de investigación. En la tabla 1 se enlistan los Jefes de Departamento y de cada una de las Áreas.

Planta académica

La estrategia y el apoyo que han seguido los Directores de la DCBI para la superación académica de los profesores ha per-

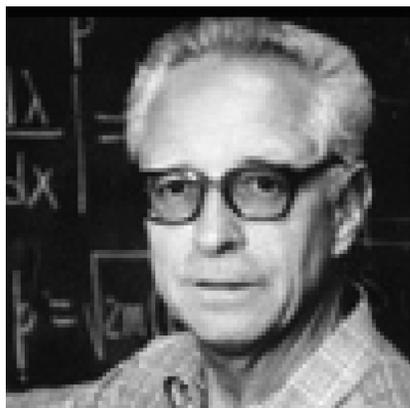


Foto 1. Leopoldo García Colín-Scherer.



Foto 2. Antonio Campero Celis.

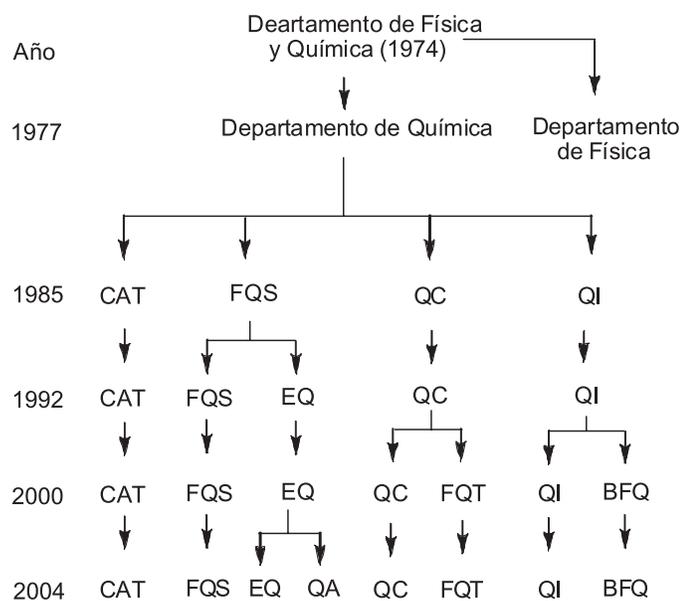


Fig. 1. Evolución del Departamento de Química desde su creación en 1977 hasta la fecha. Sus Áreas de Investigación son 8 en la actualidad, a saber y en orden alfabético: Biofísicoquímica (BFQ), Catálisis (CAT), Electroquímica (EQ), Fisicoquímica de Superficies (FQS), Fisicoquímica Teórica (FQT) Química Analítica (QA), Química Cuántica (QC) y Química Inorgánica (QI).

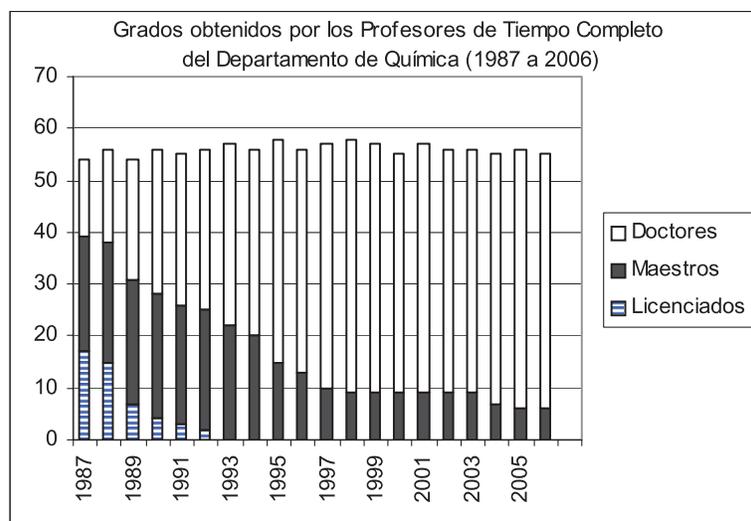
mitido una habilitación muy eficiente. La figura 2 muestra la habilitación de los PTC del Departamento de Química.

La figura 2a muestra que en 1989, a quince años que la UAM iniciara labores, el 42.6% de los PTC tenía el grado de doctor, el 44.4% tenía el grado de maestría en ciencias y el 13.0% el grado de licenciatura; en tanto que en 2006, a 32 años de la fundación de la universidad y 17 años del caso anterior, el 89.1 % de los PTC tienen el grado de doctor y el 10.9% el de maestría en ciencias. Lo anterior indica un esfuerzo constante de superación de los profesores, considerando que la planta académica ha sido bastante estable en los últimos diecisiete años.

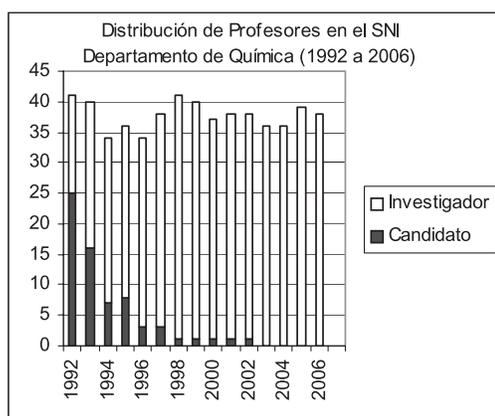
Las figuras 2b y 2c muestran que la actividad académica de muchos profesores para hacer investigación es reconocida nacional e internacionalmente, ya que un número importante de ellos son miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y han permanecido en él, desde el nombramiento de candidato hasta alcanzar el nivel II o III como investigadores nacionales. Así, en 1994 —a veinte años de fundada la UAM— el 60.7% de los PTC del DQ pertenecían al SNI. De ese 60.7%, el 20.6% tenía el nombramiento de Candidato, en tanto que el 79.4% tenían el nombramiento de Investigador Nacional (64.7% en el Nivel I, 5.9% en el Nivel II y 8.8% en el Nivel III). Hoy en día se puede afirmar que el reconocimiento del SNI para la habilitación de los PTC del DQ ha mejorado, ya que en el año de 2006 el 69.1% de los PTC del DQ son miembros del SNI, todos con el nombramiento de Investigador Nacional (50.0% en el Nivel I, 31.6% en el Nivel II y 18.4% en el Nivel III).

Tabla 1. Jefes de Departamento de Química y de sus Áreas de Investigación desde su creación hasta la fecha.

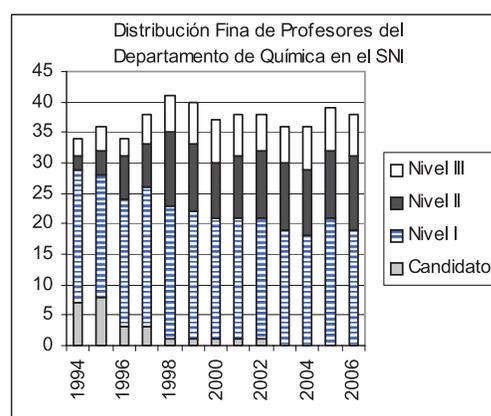
Departamento de Química	Período de gestión
Antonio Campero Celis	(1977 a 1981)
José Ricardo Gómez Romero	(1982 a 1985)
José Luis Gázquez Mateos	(1985 a 1989)
Andrés Hernández Arana	(1989 a 1993)
Fernando Rojas González	(1993 a 1996)
Margarita Viniegra Ramírez	(1996 a 2000)
Alberto Rojas Hernández	(2000 a 2004)
Juan Méndez Vivar	(2004 a 2008)
Área de Catálisis	Período de gestión
José Ricardo Gómez Romero	(1974 a 1981)
Sergio Fuentes Moyado	(1981 a 1985)
José Ricardo Gómez Romero	(1985 a 1994)
Gloria A. Del Ángel Montes	(1994 a 2006)
Maximiliano J. Asomoza Palacios	(2006 a la fecha)
Área de Fisicoquímica de Superficies	Período de Gestión
Vicente Mayagoitia Vásquez	(1974 a 1983)
Fernando Rojas González	(1983 a 1988)
Vicente Mayagoitia Vásquez	(1988 a 1996)
Isaac Kornhauser Straus	(1996 a la 2005)
Armando Domínguez Ortiz	(2005 a la 2007)
Salomón Cordero Sánchez	(2007 a la fecha)
Área de Química Cuántica	Período de Gestión
Pancracio Palting	(1975 a 1983)
José Luis Gázquez Mateos	(1983 a 1985)
Annik Vivier Jégoux	(1985 a 1988)
Alberto M. Vela Amieva	(1988 a 1992)
Annik Vivier Jégoux	(1992 a 1996)
María Villa Villa	(1996 a 1999)
Marco Antonio Mora Delgado	(1999 a 2005)
José R. Alejandro Ramírez	(2005 a 2006)
Robin Sagar Preenja	(2006 a la fecha)
Área de Química Inorgánica	Período de Gestión
Lawrence Boucher	(1977 a 1979)
Federico Delgado Peña	(1979 a 1983)
Antonio Campero Celis	(1983 a 1997)
Juan Padilla Noriega	(1997 a 2001)
Rubén Arroyo Murillo	(2001 a 2006)
Eduardo González Zamora	(2006 a la fecha)
Área de Electroquímica	Período de Gestión
Yunny Meas Vong	(1985 a 1990)
Ignacio González Martínez	(1990 a 2006)
Laura Galicia Luis	(2006 a la fecha)
Área de Biofísicoquímica	Período de Gestión
Arturo Rojo Domínguez	(1992 a 1993)
Andrés Hernández Arana	(1993 a 1995)
Rafael Arturo Zubillaga Luna	(1995 a 1999)
Arturo Rojo Domínguez	(1999 a 2002)
José Alfonso Arroyo Reyna	(2002 a 2004)
Andrés Hernández Arana	(2004 a la fecha)
Área de Fisicoquímica Teórica	Período de Gestión
Alberto Vela Amieva	(1992 a 1996)
Marcelo Enrique Galván Espinosa	(1996 a 1999)
José Andrés Cedillo Ortiz	(1999 a 2003)
Jorge Garza Olguín	(2003 a 2005)
José Andrés Cedillo Ortiz	(2005 a 2007)
Rubicelia Vargas Fosada	(2007 a la fecha)
Área de Química Analítica	Período de Gestión
Alberto Rojas Hernández	(2000)
María Teresa Ramírez Silva	(2001 a 2005)
Alberto Rojas Hernández	(2005 a la fecha)



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Evolución de la habilitación de la planta académica del DQ para realizar investigación científica de alto nivel. a) Grados académicos de los profesores de carrera de tiempo completo (PTC). b y c) Evolución de los PTC del DQ que pertenecen al SNI.

Aunque este comportamiento presenta fluctuaciones, es posible señalar que han sido debidas sobre todo a profesores que han dejado de pertenecer al personal académico de la UAM, más que al hecho de que algunos profesores —que alguna vez fueron aceptados como miembros— hayan dejado de pertenecer al SNI.

Producción científica

Para dar una idea de la evolución de la actividad académica de los PTC del DQ, en la figura 3 se muestra la producción científica típica, constituida por los artículos especializados de investigación con arbitraje estricto publicados en revistas internacionales. Lo más relevante de la figura 3a es que la tendencia de la producción científica de los PTC del DQ seguía

aumentando hasta el año de 2003, aunque desde 1990 el número de PTC es del orden de 55. Desde entonces la producción de artículos de investigación publicados en revistas especializadas con arbitraje estricto ha sido cercana a un centenar por año.

La figura 3b muestra la misma tendencia para el índice de productividad, obtenido como el cociente del número de artículos de investigación publicados entre el número de PTC. Esto es lógico porque el número de PTC es prácticamente constante desde hace aproximadamente 20 años. Lo relevante de esta figura 3b es que actualmente cada PTC del DQ publica en promedio más de 3 artículos cada 2 años.

La figura 3c muestra el mismo indicador que la 3b, pero dividiendo el número de artículos de investigación publicados entre el número de Profesores del Núcleo del Posgrado en Química (PNPQ) —que es de 40 en la actualidad, 72.7% del total de los PTC. Como se observa, hoy en día el promedio de

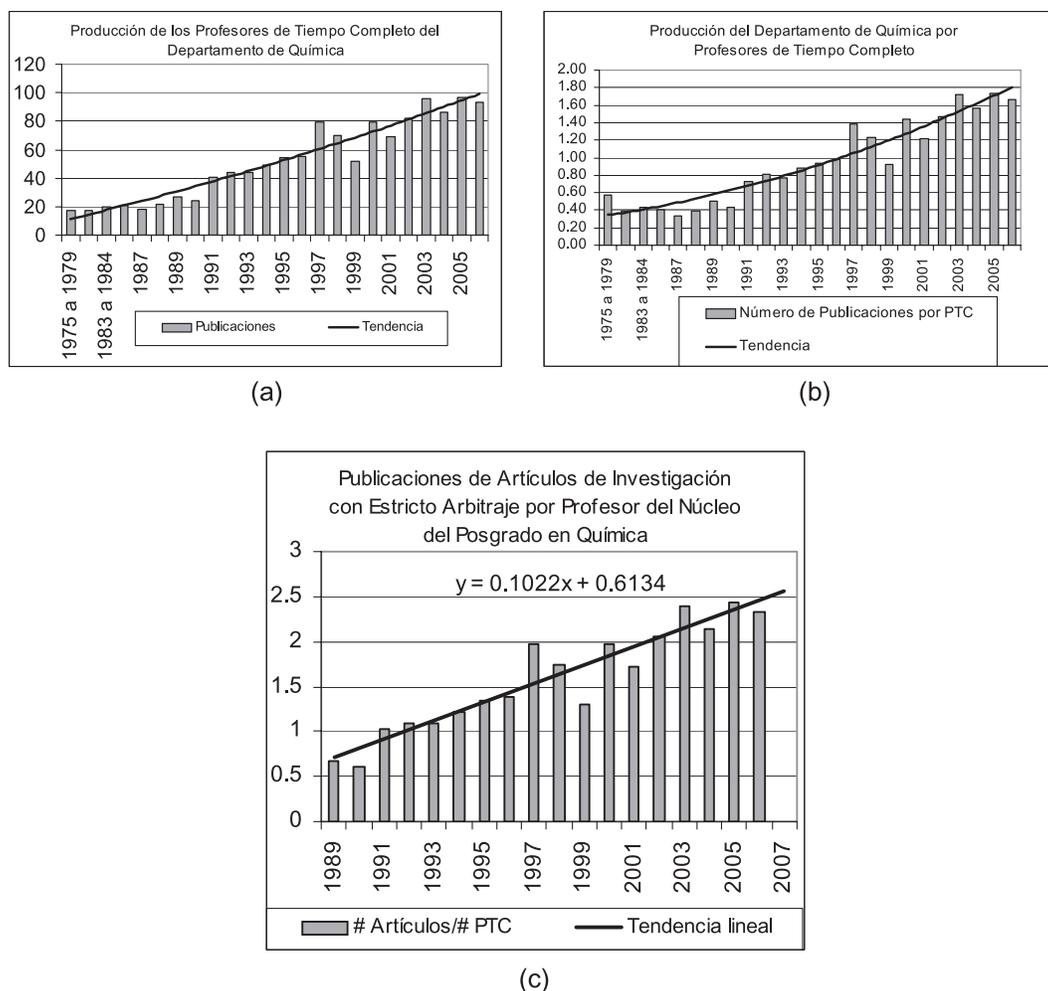


Fig. 3. Producción científica en artículos de investigación con arbitraje publicados en revistas de circulación internacional. a) Número de artículos publicados con la participación de los PTC del DQ; durante 30 años se han publicado prácticamente 1190 artículos. b) El cociente del número de artículos publicados entre el número total de PTC en el DQ en la actualidad alcanza un valor de 1.7. c) En los últimos años, considerando sólo el núcleo de los PTC del Posgrado en Química (alrededor de 40) el cociente del número de artículos publicados entre el número total de PTC en el DQ, por año, se ha estabilizado en un valor de 2.3 aproximadamente, sólo comparable al de unos cuantos institutos de investigación de gran prestigio en México.

los PNPQ publica más de 2 artículos al año. El valor de este índice de productividad que el Padrón Nacional de Posgrados (PNP) recomienda alcanzar para que un programa pueda registrarse allí, en el Nivel Internacional, es de 1.0 a 2.0. Esto indica que el núcleo de profesores del Posgrado en Química ha rebasado ampliamente este indicador. Sin embargo, los PNPQ del DQ no sólo atienden a los estudiantes del Posgrado en Química, sino se encargan de cursos y alumnos de nivel licenciatura y de todas las actividades propias de cualquier profesor de la UAM.

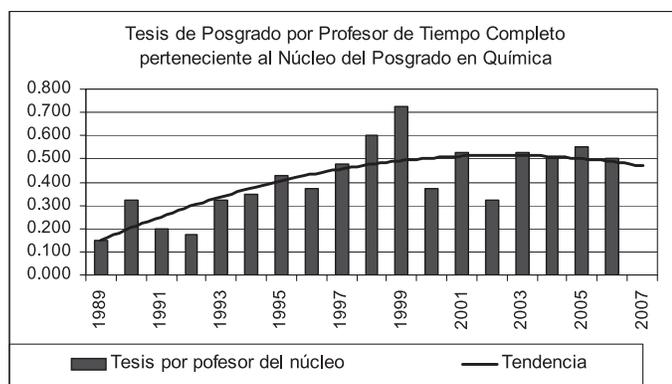
Cabe aclarar que en el período de 2000 a 2003, 255 artículos de los PTC del DQ se publicaron en revistas registradas en el *Science Citation Index*, con un factor de impacto promedio de 1.851, lo que puede calificarse de bastante satisfactorio

y comparable a la producción científica de cualquier departamento académico de química competitivo en el mundo.

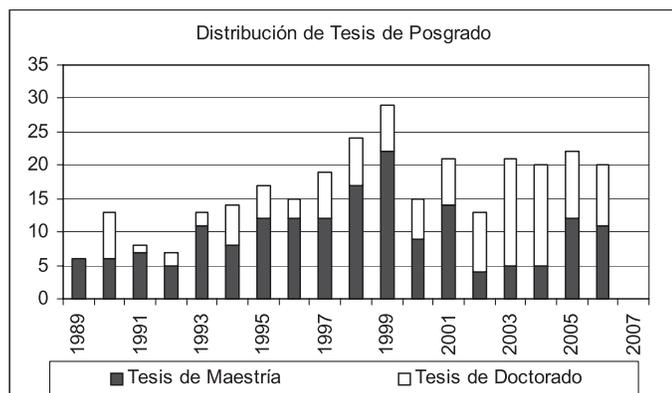
Formación de recursos humanos

Tan importante como la producción científica en trabajos escritos de alguien dedicado a la investigación es la formación de recursos humanos, pero en el caso de los profesores lo es aún más, ya que ése es uno de los principales compromisos de las universidades públicas, como lo es la UAM.

En la figura 4a se muestra el número de trabajos de tesis dirigidos por PTC del DQ. En 30 años se ha alcanzado una cifra de casi 300 trabajos de tesis dirigidos. Curiosamente,



(a)



(b)

Fig. 4. Número de tesis de posgrado concluidas, dirigidas por PTC del DQ en los últimos 15 años. a) Actualmente el profesor promedio del NPQ hace que cada dos años un alumno obtenga el grado de maestro o doctor. b) La proporción de las tesis de doctorado y de maestría dirigidas en el DQ, por año, es casi la misma en la actualidad (50% de cada tipo).

el número de trabajos de tesis de posgrado dirigidos parece encontrarse en un periodo estacionario, como se muestra en la figura 4b.

Recursos externos conseguidos por los PTC del DQ

El número total de PTC del DQ anualmente ejerce aproximadamente de ocho a 12 millones de pesos anuales, obtenidos con recursos externos, como se muestra en la figura 5. Muchos recursos todavía son obtenidos de la convocatoria de apoyo a proyectos de investigación científica básica, del CONACyT, aunque también se han obtenido recursos de otras fuentes de financiamiento, tales como el Instituto Mexicano del Petróleo (proyectos FIES principalmente), PEMEX (a través de proyectos específicos de investigación básica), Industrias Peñoles, Grupo Industrias Resistol, S. A., el Instituto Federal Electoral y el Centro de Investigación en Polímeros de COMEX, entre otros.

A pesar de este gran esfuerzo para poder financiar la Investigación independientemente del presupuesto que la univer-

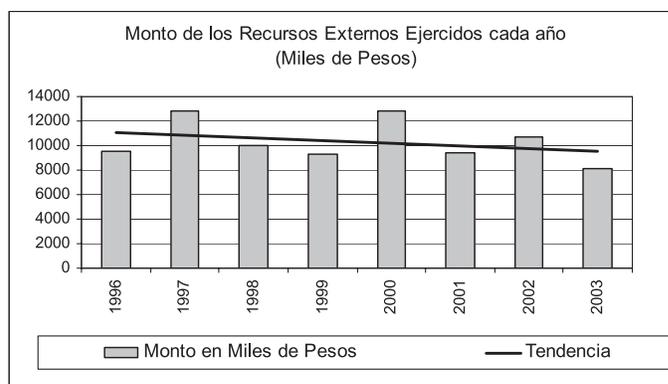


Fig. 5. Monto de los recursos externos ejercidos, obtenidos en su mayoría por proyectos de investigación básica, financiados por diferentes instituciones e industrias.

sidad otorga para desarrollarla, cada vez es más difícil obtener estos recursos, ya que la estructura gubernamental ha ido cambiando en los últimos tiempos; de manera que muchos recursos que se ofrecen para investigación a través de los llamados Fondos Mixtos Sectoriales (en los que intervienen los fideicomisos del CONACyT con las diferentes Secretarías de Estado) se utilizan en realidad en servicios o en infraestructura para las industrias.

Premios y distinciones recibidos por integrantes del DQ por la investigación

Numerosos premios y reconocimientos han sido otorgados por diferentes instituciones a integrantes del DQ, tanto fuera como dentro de la UAM. Sin tratar de ser exhaustivo, a continuación se mencionarán algunos de los más relevantes

Premios y distinciones internacionales

Profesor Invitado (por Concurso Internacional, del Ministère de la Education Nationale, Francia) Université de Paris, Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée (Septiembre-Diciembre de 2001), otorgado al Dr. Antonio Campero Celis.

Premio del Institute for Scientific Information ISI 2000, por dos artículos identificados como Citation Classics, Highly Cited Mexican Articles of the 1990s, otorgado a la Dra. Annik Vivier Jégoux.

Premio UNESCO "Javed Hussain" en Ciencias 1995, de la Organización de los Estados Americanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), otorgado a la Dra. Tessa María López Goerne.

Premios y distinciones nacionales o estatales

Premio Nacional de Química en Investigación "Andrés Manuel Del Río" 2008 de la Sociedad Química de México, otorgado al Dr. José Luis Gázquez Mateos.

Premio Nacional de Química en Investigación “Andrés Manuel Del Río” 2007 de la Sociedad Química de México, otorgado al Dr. Ignacio González Martínez.

Premio Estatal de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada “Dr. Jaime Kravzov Jinich” otorgado por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Fundación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla A.C., septiembre de 2000, otorgado al Dr. Fernando Rojas González.

Premio Nacional de Química en Investigación “Andrés Manuel Del Río” 1995, Sociedad Química de México, otorgado al Dr. José Ricardo Gómez Romero.

Premio Nacional de Ciencias y Artes 1993 (Tecnología y Diseño), convocado por la Presidencia de la República, otorgado al Dr. José Ricardo Gómez Romero.

Premios y distinciones en la UAM



Foto 3. Dr. Antonio Campero Celis, Dra. Annik Vivier Jégoux y Dr. José Ricardo Gómez Romero (de izquierda a derecha), Profesores Distinguidos del Departamento de Química, el día que el Departamento celebró el 65° aniversario del nacimiento del Dr. Campero. (Año 2001. Foto cortesía de Isaac Kornhauser Straus).

Profesores distinguidos

Nombramiento de Profesor Distinguido 2001, otorgado por el Colegio Académico al Dr. Antonio Campero Celis.

Nombramiento de Profesor Distinguido 2000, otorgado por el Colegio Académico a la Dra. Annik Vivier Jégoux.

Nombramiento de Profesor Distinguido 1991, otorgado por el Colegio Académico al Dr. José Ricardo Gómez Romero.

Premio a las Áreas de Investigación

Premio a las Áreas de la DCBI 2003: otorgada al Área de Catálisis.

Premio a las Áreas de la DCBI 2001: otorgada al Área de Química Cuántica.

Premio a las Áreas de la DCBI 1997: otorgada al Área de Electroquímica.

Premio a las Áreas de la DCBI 1994: otorgada al Área de Química Cuántica.

Premio a las Áreas de la DCBI 1993: otorgada al Área de Catálisis.

Premio a la investigación

Premio Anual a la Investigación 2007 de la DCBI. Otorgado por el Jurado convocado por el Rector General y los Consejos Divisionales de CBI al trabajo: “Electrochemical polymerisation of 5-amino-1,10-phenanthroline onto different substrates. Experimental and theoretical study.” Por: QFB. José Ángel Cobos Murcia, Dra. Laura Galicia Luis (DQ), Dra. María Teresa Ramírez Silva (DQ), Dr. Alberto Rojas Hernández (DQ), Q. Rodolfo Álvarez Bustamante, Dra. Giselle Rosquete Pina, Dr. Mario Alberto Romero Romo, Dr. Manuel Eduardo Palomar Pardavé.

Premio Anual a la Investigación 2002 de la DCBI. Otorgado por el Jurado convocado por el Rector General y los Consejos Divisionales de CBI al trabajo: “Formation Mechanisms and Characterization of Black and White Cobalt Electrodeposition onto Stainless Steel.” Por: Dr. Enrique Barrera Calva, Dr. Nikola Batina (DQ), Dr. Ignacio González Martínez (DQ), Dr. Manuel Eduardo Palomar Pardavé.

Premio Anual a la Investigación 1992 de la DCBI. Otorgado por el Jurado convocado por el Rector General y los Consejos Divisionales de CBI al trabajo: “Ru/SiO₂ impregnated and sol-gel prepared catalysts: synthesis, characterization, and catalytic properties.” Por: Dra. Tessy María López Goerne (DQ), Dr. Pedro Bosch Giral (DQ), Dr. Maximiliano J. Asomoza Palacios (DQ), Dr. José Ricardo Gómez Romero (DQ).

Docencia

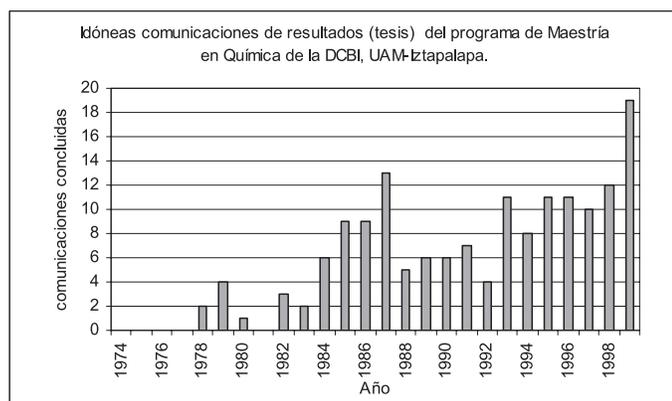
Es pertinente mencionar que la misma planta académica se encarga de la docencia, inclusive a nivel licenciatura. Entonces debe resaltarse que recientemente la Secretaría de Educación Pública (SEP) ha reconocido también la habilitación de los PTC del DQ, mediante su Programa de Mejoramiento del Profesorado (Promep). Es así que durante el año 2003 se le otorgó el reconocimiento de profesores con perfil Promep a 36 de los PTC del DQ, en tanto que durante 2004 este reconocimiento se dio a otros 6 profesores. En total se ha reconocido con tal nombramiento al 76.4% de los PTC del DQ.

A continuación se presenta la situación de la docencia, tanto a nivel posgrado como a nivel licenciatura.

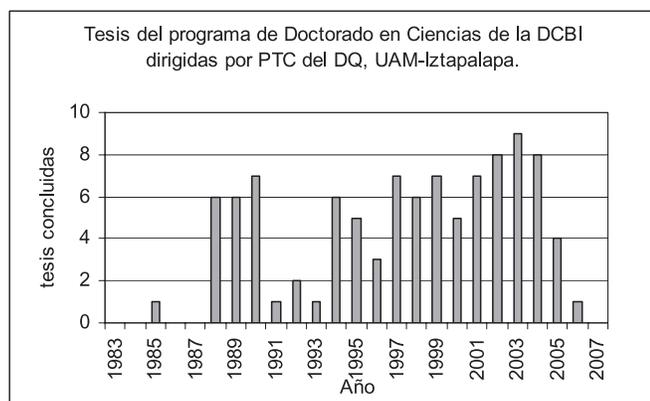
Posgrado en Química

Desde 1974 se ofreció un programa de Maestría en Química, y es en septiembre de 1978 que obtiene el grado su primer egresado, el ahora doctor Fernando Rojas González, quien realizó su investigación bajo la dirección del Dr. Vicente Mayagoitia Vásquez —del Área de Físicoquímica de Superficies— con el trabajo de tesis intitulado “Curvatura y Heterogeneidad en Adsorción Física”. Posteriormente, en 1983, inicia el programa de Doctorado en Ciencias, al cual se suma la mayor parte de la planta académica del programa de Maestría en Química. La principal característica de este programa fue el distinguirse como un doctorado por investigación, y uno de sus requisitos para obtener el grado es haber publicado al menos un artículo de investigación en una revista científica con estricto arbitraje y de circulación internacional. Aunque éste es un programa divisional, el primer alumno que obtuvo el grado dentro del programa es el Dr. Marco Antonio Quiroz Alfaro bajo la dirección del Dr. Yunny Meas Vong —del Área de Electroquímica— con el trabajo de tesis intitulado: “Contribución al estudio electroquímico de electrodos de rutenio y platino-rutenio”.

Ambos programas de posgrado resultaron bastante exitosos ya que 159 alumnos del programa de Maestría en Química



(a)



(b)

Fig. 6. Número de tesis de posgrado concluidas, dirigidas por PNPQ del DQ. a) Programa de Maestría en Química, cerrado en 1999. b) Programa de Doctorado en Ciencias (cerrado a inscripción en 1999).

obtuvieron el grado entre 1974 y 1999 —año en el que se cerró. Por otra parte, del programa de Doctorado en Ciencias (cerrado a inscripción desde el año 1999) han egresado 100 alumnos bajo la dirección de profesores del DQ, de 1983 a 2003 (figura 6).

El éxito de estos programas y la evolución académica de la DCBI hicieron surgir en septiembre 1999 el nuevo Sistema de Posgrado Divisional, al cual pertenece el programa de Posgrado en Química, que puede admitir estudiantes de licenciatura con opciones terminales de Maestría en Ciencias (Química) o Doctorado en Ciencias (Química). El cambio de los programas de posgrado de la DCBI se debió a la búsqueda de programas más flexibles e interesantes para los alumnos. Se espera que estos programas sean aún más exitosos que sus predecesores (figura 7).

Licenciatura en Química

El programa de Licenciatura en Química surge cuando la Unidad Iztapalapa abre sus puertas. Este programa es uno de los que la DCBI ofrece en Ciencias Básicas. En 1974 el perfil de egresado estaba totalmente cargado a la investigación científica. Tal vez esa característica y el problema de baja demanda que las carreras de Química tienen en todo el mundo ha hecho que esta licenciatura sea de pocos alumnos. El programa cambió su plan de estudios en 1999 y después ha tenido varias adecuaciones. Aunque sigue manteniendo la formación científica sólida de sus egresados, se ha tratado de darle algunos enfoques novedosos para que los estudiantes puedan ejercer la profesión en forma competitiva con egresados de otras instituciones.

Premios y distinciones recibidos por integrantes del DQ por la docencia

Premios y Distinciones externos

Reconocimiento a las Áreas de Investigación

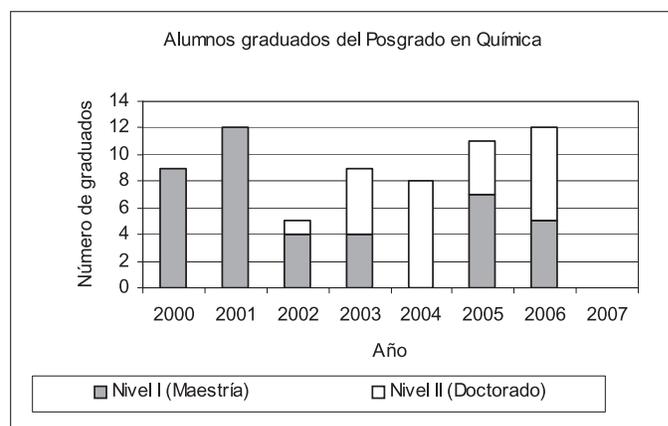


Fig. 7. Número de alumnos de posgrado graduados en el Programa de Posgrado en Química del Sistema de Posgrado Divisional, que inició en 1999.

Biofísicoquímica. Cuerpo Académico Consolidado. Promep-SEP otorgado en 2003.

Electroquímica. Cuerpo Académico Consolidado. Promep-SEP otorgado en 2003.

Química Cuántica. Cuerpo Académico Consolidado. Promep-SEP otorgado en 2003.

Premios y distinciones en la UAM

Premio a la Docencia otorgado por el Consejo Divisional de DCBI a:

Dra. Ruth Patricia Villamil Aguilar (2008), Dra. Rubicelia Vargas Fosada (2006), Dra. María Teresa Ramírez Silva (2004), Dr. José Luis Córdova Frunz (2002), Dr. Alberto Rojas Hernández (2000), Dr. Arturo Rojo Domínguez (1998).

Obras premiadas en el Concurso de Libros de Texto y Manuales de Práctica convocado por el Rector de la Unidad Iztapalapa

Manual de Prácticas de Química Orgánica I. Obra premiada en el concurso convocado en 2002. M. en Q. Miguel Ángel García Sánchez.

Manual de Prácticas de Química Orgánica II. Obra premiada en el concurso convocado en 2002. M. en Q. Miguel Ángel García Sánchez.

Principios y aplicaciones de los procesos electroquímicos. Obra premiada en el concurso convocado en 2000. Dra. Mercedes Teresita Oropeza Guzmán, Dr. Carlos Ponce de León Albarrán, Dr. Ignacio González Martínez.

Experimentos para Laboratorio de Química II. Obra premiada en el concurso convocado en 1995. Dr. Salvador Ramón Tello Solís, María Elena Valle Guadarrama.

Problemas de Físicoquímica I (para Ciencias Biológicas y de la Salud). Obra premiada en el concurso convocado en 1995. Dra. Rubicelia Vargas Fosada, Dra. Ana María Martínez Vázquez, Dr. Jorge Garza Olguín.

Manual de Prácticas de Química Inorgánica III. Obra premiada en el concurso convocado en 1995. M. en Q. Ana María Soto Estrada.

Diagramas de Zonas de Predominio Aplicados al Análisis Químico. Obra premiada en el concurso convocado en 1993. Dr. Gabriel Trejo Córdova, Dr. Alberto Rojas Hernández, Dra. María Teresa Ramírez Silva.

Problemario de Química I. Obra premiada en el concurso convocado en 1993. Dra. Rubicelia Vargas Fosada, M. en Q. Emma Adriana Urby, M. en Q. Carmen Nila Méndez, Dr. Eduardo González Zamora, M. en Q. Miguel Ángel Morales Cortés.

Manual de Prácticas de Química Inorgánica I. Obra premiada en el concurso convocado en 1992. Dra. Ana María Martínez Vázquez, M. en Q. Rodolfo Álvarez Bustamante.

Preservación y difusión de la cultura

La labor de Preservación y Difusión de la Cultura no recae directamente en los Departamentos Académicos de nuestra institución, al menos hasta ahora. Sin embargo, es claro que los miembros del Personal Académico asisten a eventos científicos en los cuales difunden su labor en Investigación y Docencia. Sin embargo, sí ha habido algunas aportaciones que vale la pena señalar.

Simposio de estudiantes de posgrado en Química "Fernando Romo"

El Departamento de Química organizó durante 10 años el Simposio de Estudiantes de Posgrado en Química "Fernando Romo". El nombre de dicho evento se le dio para recordar a un estudiante de la Maestría en Química que falleció durante los sismos de septiembre de 1985 en la ciudad de México. Si bien fue un simposio que comenzó como una actividad interna, llegó a tener una proyección a nivel nacional. En la tabla 2 se dan

Tabla 2. Simposio de Estudiantes de Posgrado en Química «Fernando Romo».

Número del simposio	Fechas	Lugar
I	1987	Sala Cuicacalli. UAM-Iztapalapa.
II	1988	Sala Cuicacalli. UAM-Iztapalapa.
III	1989	Sala Cuicacalli. UAM-Iztapalapa.
IV	septiembre de 1990	Zacatecas, Zacatecas.
V	1991	Edificio de Posgrado. UAM-Iztapalapa.
VI	28-29 de mayo de 1992	Facultad de Química, UNAM.
VII	28-30 de julio de 1993	Sala Cuicacalli. UAM-Iztapalapa.
VIII	28-29 de septiembre de 1994	Auditorio A. Facultad de Química, UNAM.
IX	16-17 de noviembre de 1995	Facultad de Química, BUAP.
X	diciembre de 1996	Sala Cuicacalli. UAM-Iztapalapa.

Tabla 3. Ciclo de conferencias por los 20 años de vida del Departamento de Química.

Conferencista	Institución
Dr. Mark E. Meyerhoff	University of Michigan
Dr. David Dixon	Pacific North Western Laboratory
Dr. Hardy Gross	Institut für Theoretische Physik
Dra. Nina Bogdanchikova	IF-UNAM, Ensenada, BC.
Dr. Vitalli Petranovskii	IF-UNAM, Ensenada, BC.
Dr. Sergio T. Ferreira	Universidad Federal de Río de Janeiro
Dr. Robert Taylor	Bruker

algunos datos de las fechas y los lugares en donde se celebró el simposio.

De este evento debe resaltarse el esfuerzo editorial de publicar las memorias en extenso de los trabajos, además de que en las últimas ediciones del evento los trabajos se aceptaban con el arbitraje de especialistas.

Por otra parte, cabe señalar que así como el evento surgió para conmemorar a Fernando Romo, el X Simposio Estudiantil de Estudiantes de Posgrado en Química “Fernando Romo” fue dedicado a la memoria del Dr. Vicente Mayagoitia Vásquez

(fallecido en 1996), profesor fundador del Departamento de Química y líder académico del Área de Físicoquímica de Superficies.

Ciclo de conferencias para celebrar el XX aniversario de la fundación del Departamento de Química

Para conmemorar el XX aniversario de la creación del Departamento de Química, en 1997 se organizó un ciclo de conferencias, que tuvo lugar en la Sala Cuicacalli. Los conferencistas de dicho evento se muestran en la tabla 3.

Por otra parte, durante los 30 años de vida de la universidad ha visitado al Departamento de Química una pléyade de profesores e investigadores de muy alto prestigio académico.

Infraestructura material

Desde la fundación del Departamento de Química, se le fueron entregando diferentes espacios físicos en el edificio R. En la actualidad el segundo piso de dicho edificio y la gran mayoría del primer piso están ocupadas por profesores y alumnos del Departamento de Química. Pero el Departamento de

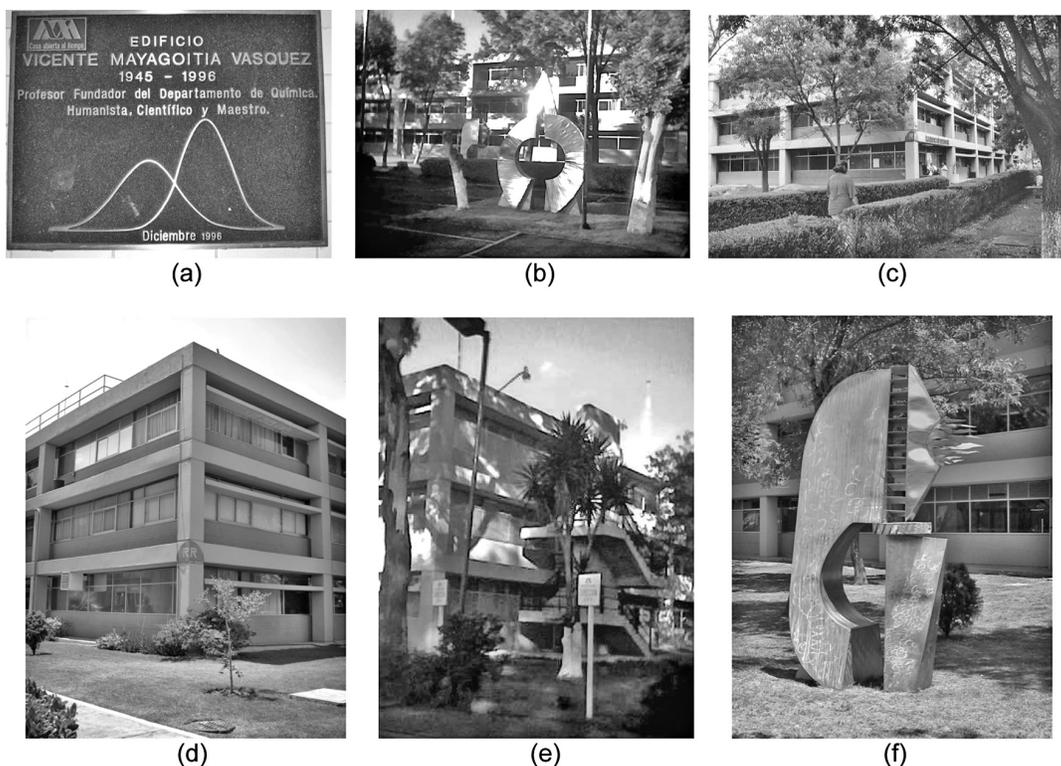


Foto 4. Edificio R, “Vicente Mayagoitia Vásquez”, de la Unidad Iztapalapa, donde se encuentra la mayor parte de los laboratorios de investigación del Departamento de Química. a) Placa en el edificio R cuando se le dio nombre en diciembre de 1996. b) Ala norte y esculturas (de Jubran). c) Esquina norponiente. d) Esquina suroriente. e) Esquina nororiente y escalera de emergencia. f) Vista de la escultura de Jubran en el prado del ala norte del edificio R.

Química también tiene instalaciones en los edificios AT, W e I' (ampliación del Laboratorio Central). La gran mayoría de estos laboratorios han sido equipados con instrumentos que se han adquirido sobre todo con el financiamiento de proyectos de investigación, que se le han otorgado a los profesores por parte del CONACyT y la SEP, fundamentalmente. Sin embargo, los profesores del Departamento de Química y sus alumnos también pueden ocupar para sus proyectos de investigación la infraestructura material de la DCBI de grandes equipos. Así, en el Laboratorio Central se encuentran los laboratorios de resonancias magnéticas (con espectrofotómetros de resonancia magnética nuclear (NMR) para líquidos, 500 MHz, y sólidos, 300 MHz); de microscopías electrónicas (con microscopios de transmisión (TEM) y barrido (SEM)); y de supercómputo y visualización en paralelo (con *clusters* de PC para gran capacidad de cómputo y bajo mantenimiento). Cabe señalar que el laboratorio de rayos X (con dos difractómetros de rayos X y un equipo de dispersión de rayos X a bajo ángulo) se encuentra en el laboratorio R-211, del Área de Catálisis del DQ.

El futuro del Departamento de Química de la UAM

En los párrafos anteriores se ha intentado dar una semblanza de los logros del DQ a treinta años de fundación de la UAM. A continuación y brevemente se tratará de señalar los principales retos que se le presentan al DQ en el futuro cercano y a mediano plazo.

Edad. El histograma de la figura 8a (en el año de 2004) da lugar a una media de 48 años para los PTC del DQ, con una desviación estándar de 7 años, en tanto que el de la figura 8b (en el año de 2007) da lugar a una media de 51 años con la misma desviación estándar. Además, la distribución es asimétrica, de manera que hay más PTC con edad mayor a la media que profesores con menor edad. Esto da una clara idea que los PTC que la planta académica no se está renovando. Es por ello que resulta indispensable esta renovación de la planta académica, de ser posible durante los próximos 5 años. Para ello es imprescindible el apoyo de la institución para lograr este objetivo.

Aumento de la matrícula de los alumnos que desean seguir estudios de Química en licenciatura y posgrado. Un problema constante para las licenciaturas de ciencias, y particularmente de química en todo el mundo, es que cada vez son menos los aspirantes a estudiar licenciaturas en este campo. Aunque este problema no es nuevo, en el futuro cercano los PTC del DQ deben hacer un esfuerzo sostenido para atraer más estudiantes, ya que actualmente están ingresando entre 10 y 15 alumnos por año y no todos son retenidos en el programa ni todos son alumnos exitosos. Tal vez una forma de enfrentar y resolver el problema es darle a la licenciatura de Química una fisonomía más actual, considerando aspectos como flexibilidad curricular y multidisciplinaria.

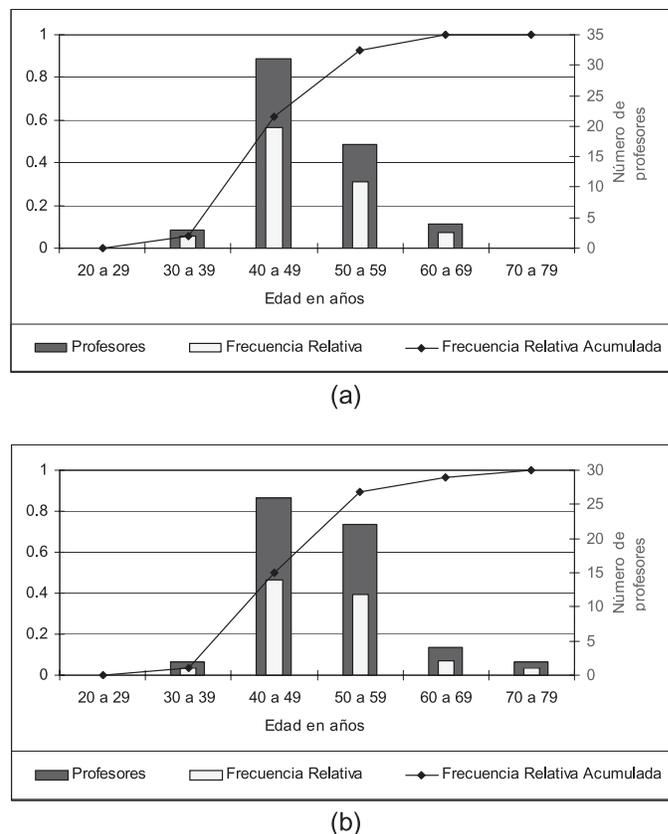


Fig. 8. Distribución de los PTC del DQ de acuerdo con su edad. a) En el año 2004. b) En el año 2007.

Aunque en menor medida, este problema también comienza a presentarse en el programa de Posgrado en Química. Y tal vez también deba enfrentarse y resolverse el problema con una estrategia común (al de la licenciatura).

Infraestructura material. Se debe señalar que las instalaciones asignadas al DQ no son suficientes para los profesores y alumnos que realizan investigación; esto es, existe una sobrepoblación de las instalaciones con las que se cuenta, por lo que la institución debe considerar dotar al DQ de más espacios y mejores instalaciones. Por otra parte, la institución también debe considerar el tener una política más vigorosa para apoyar a los PTC del DQ a lograr mayores financiamientos, ya que se ha observado que la asignación de los recursos por el CONACyT ha sido cada vez más difícil.

Vinculación e impacto. Los PTC del DQ deben trasladar sus esfuerzos no solamente a la búsqueda y consecución de recursos en los proyectos de Ciencia Básica. También deben diseñar una política que les permita mayor vinculación para poder lograr más recursos y tener mayor impacto en los logros que la investigación en química puede tener para los sectores productivos, ecológicos y de salud. Sólo así se podrá dar cumplimiento eficiente a la misión del DQ en el largo plazo.

Los azopolímeros: materiales inteligentes con respuesta a la luz

Ernesto Rivera,* Tonatiuh García, Roberto Salazar y Jorge Diricio

Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. México 04510, D.F. México. riverage@iim.unam.mx; fax: (5255) 56 16 12 01

Resumen: La fotoisomerización *trans-cis-trans* de los azobencenos es bien conocida y da lugar a tres movimientos diferentes en los materiales poliméricos a los cuales están incorporados. El primer movimiento fotoinducido es la fotoisomerización *trans-cis* de los grupos azobenceno que se da a nivel molecular. El segundo es el fotoalineamiento de dichos grupos al ser irradiados con luz polarizada linealmente, el cual tiene lugar a nivel de microdominios. El tercer movimiento fotoinducido se da a nivel macroscópico e involucra grandes cantidades de material polimérico, lo cual provoca deformaciones en la superficie de una película de azopolímero. En la presente revisión se discuten brevemente la síntesis y caracterización de algunos polímeros a base de azobenceno, los movimientos fotoinducidos que tienen lugar en ellos y las repercusiones de éstos en la morfología de dichos materiales. Además, se explican algunas de sus aplicaciones en óptica y fotónica.

Palabras clave: Azobenceno, azopolímeros, fotoisomerización, óptica.

Abstract: The *trans-cis-trans* photoisomerization of azobenzenes is very well known and give rise to three different motions in those materials where they are incorporated. The first photoinduced motion is the *trans-cis* photoisomerization of the azobenzene groups which occurs at molecular level. The second one is the photoalignment of these groups when they are irradiated with linear polarized light, which takes place at the micro-domains level. The third photoinduced motion occurs at a macroscopic level and involve large amounts of polymeric material, which produces deformations on the surface of an azopolymer film. In the present review, the synthesis and characterization of some azobenzene polymers is discussed, as well as the photoinduced motions which take place on them, and the consequences of these in the morphology of such materials. Besides, some of their optic and photonic applications are explained.

Keywords. Azobenzene, Azopolymer, photoisomerization, optics.

Introducción

Los azobencenos son compuestos muy conocidos y han sido estudiados durante varios años. Al principio, su uso fue exclusivamente como colorantes; así, el azobenceno no sustituido es un compuesto amarillo, pero dependiendo de los sustituyentes presentes en él puede adoptar tonalidades que van de naranja a rojo púrpura. La fotoisomerización del azobenceno, se conoce desde los años 50 y ha sido ampliamente revisada en la literatura [1]. Cuando el grupo azobenceno se incorpora a un polímero, su fotoisomerización puede tener una variedad de consecuencias inesperadas que han sido previamente discutidas en la literatura [2].

A mediados de los 80, Todorov y col. [3] descubrieron que cuando ciertos grupos azobenceno se encontraban disueltos en una matriz de polímero, las unidades de azobenceno se fotoisomerizan en presencia de luz polarizada linealmente y eventualmente se orientan perpendicularmente al eje de polarización del láser, produciendo dicroísmo y birrefringencia en una película. Años más tarde, los laboratorios Ringdorf y Wendorff's en Alemania reportaron el mismo fenómeno en polímeros líquido-cristalinos que contienen unidades de azobenceno. Estos grupos jugaban un papel doble, ya que actuaban como mesógenos y a su vez como unidades fotoactivas [4]. Contemporáneamente, Ichimura y colaboradores en Japón [5] para explicar este comportamiento propusieron el concepto de "comandante de superficies", donde el azobenceno fungía como el comandante y las películas líquido-cristalinas Langmuir-Blodgett como los soldados que se alineaban con el *trans* o con el *cis*-azobenceno; el intercambio entre ambos isómeros "switching" era promovido por iluminación.

En 1991 Natansohn y col. en Canadá entre algunos otros grupos de investigación se involucraron en este campo de investigación. Hubo descubrimientos inesperados e interesantes que trajeron consigo adelantos prometedores en memoria óptica reversible y aplicaciones fotónicas. En los últimos 15 años, la actividad de investigación, creció exponencialmente, y se cuenta con algunas revisiones útiles de los primeros trabajos efectuados: una de Natansohn [6] que abarca toda la literatura hasta 1992, una del grupo de Tripathy [7] que revisa las investigaciones hechas en relieves grabados de superficie y una más reciente que aborda el fotoalineamiento en polímeros cristales-líquidos [8]. La mejor revisión disponible que cubre ambos aspectos, birrefringencia fotoinducida y relieves grabados fotoinducidos en superficies fue publicada por Belaire y Nakatani [9]. No obstante, la revisión más reciente sobre este tópico en específico es la de Natansohn y Rochon [10].

Clasificación de los azobencenos de acuerdo con su comportamiento fotoquímico.

Rau clasificó a los azobencenos en tres categorías en base a su comportamiento fotoquímico [1]. Los azobencenos no sustituidos o de bajo momento dipolar pertenecen al primer grupo, llamado simplemente "azobencenos". Los azocompuestos que pertenecen a este grupo se consideran como moléculas foto-crómicas ya que presentan dos isómeros *trans* y *cis* (Fig. 1), cada uno de los cuales presenta dos bandas bien diferenciadas en su espectro de absorción debidas a las transiciones $\pi\text{-}\pi^*$ y $n\text{-}\pi^*$ respectivamente [1]. La banda $\pi\text{-}\pi^*$ es más intensa para

el isómero *trans* mientras que la banda $n-\pi^*$ es más intensa para el isómero *cis*. La sobreposición de ambas bandas para este tipo de azobencenos tiende a ser muy pobre. El tiempo de vida media del isómero *cis* es muy largo (minutos a horas, Fig. 1b). La segunda categoría se denomina “aminoazobencenos” y los azocompuestos que pertenecen a esta clase muestran una sobreposición apreciable de las bandas $\pi-\pi^*$ y $n-\pi^*$. El tiempo de vida media del isómero *cis* para los “aminoazobencenos” es mucho más corto, del orden de minutos. Finalmente, la tercera categoría se conoce con el nombre de “pseudostilbenos” y pertenecen a ella, azobencenos que contienen grupos electrodonadores y electroattractores. Para los “pseudostilbenos”, las bandas $\pi-\pi^*$ y $n-\pi^*$ están invertidas en la escala de energía y están totalmente sobrepuestas, a tal grado que sólo se aprecia una banda en su espectro de absorción, Fig. 1b. Además, el tiempo de vida media del isómero *cis* es cortísimo de segundos a picosegundos [1].

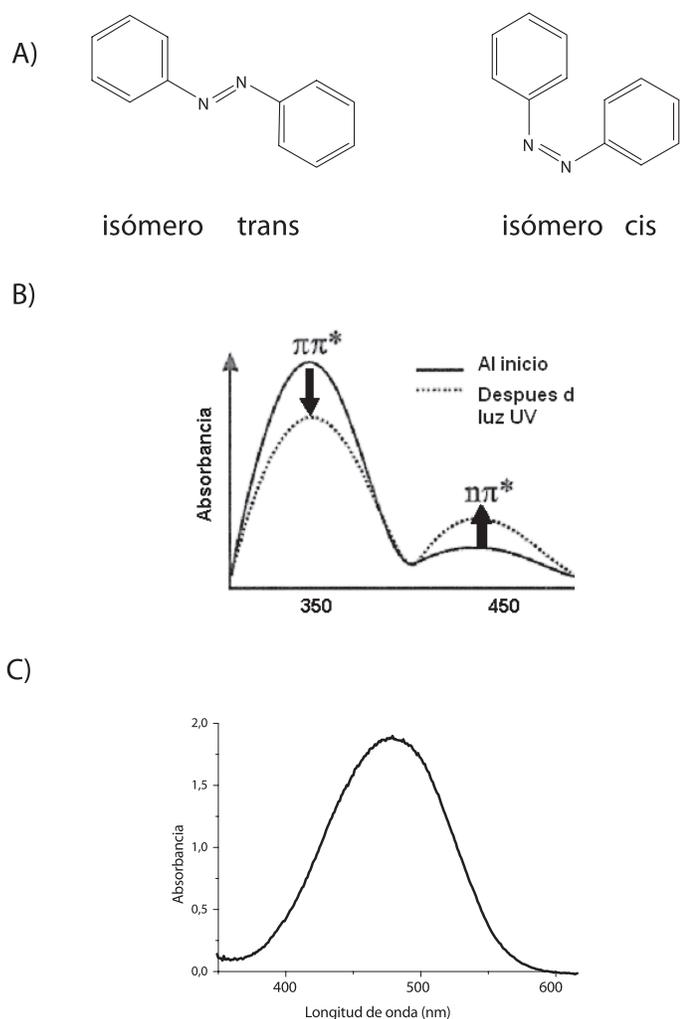


Fig. 1. A) Isómeros del azobenceno. B) Espectro UV-Vis de un azobenceno. C) Espectro UV-Vis de un “pseudostilbeno”.

Síntesis de azopolímeros

Diversos azopolímeros han sido sintetizados, caracterizados y reportados en la literatura, algunos de ellos con el grupo azobenceno formando parte de la cadena principal y otros teniéndolo como grupo pendiente [10]. Certos azopolímeros contienen unidades de azobenceno ligadas a una cadena principal flexible, vía un espaciador flexible. Estos últimos han mostrado ser la mejor opción para aplicaciones fotónicas, debido a que su flexibilidad facilita los movimientos fotoinducidos. La cadena principal flexible más utilizada es un poliacrilato o polimetacrilato. Existen varias unidades de azobenceno que poseen grupos donador-aceptor, algunas de las cuales se muestran en la figura 2 con sus respectivos momentos dipolares calculados con el método semi-empírico AM1. El grupo azobenceno más utilizado es el amino-nitro sustituido ya que presenta un alto momento dipolar y a diferencia del grupo tricriovinilo, el grupo nitro no es susceptible a polimerizar. El primer polímero sintetizado de este tipo (pDR1) incluía unidades de rojo disperso-1 por ser éste un compuesto comercial (Fig. 3).

Posteriormente, se encontró que remplazar el grupo etilo unido al átomo de nitrógeno por un grupo metilo permitía un mejor empaque entre los grupos azobenceno. Así, se desarrolló la serie de polímeros pnMAN [11], cuya estructura general

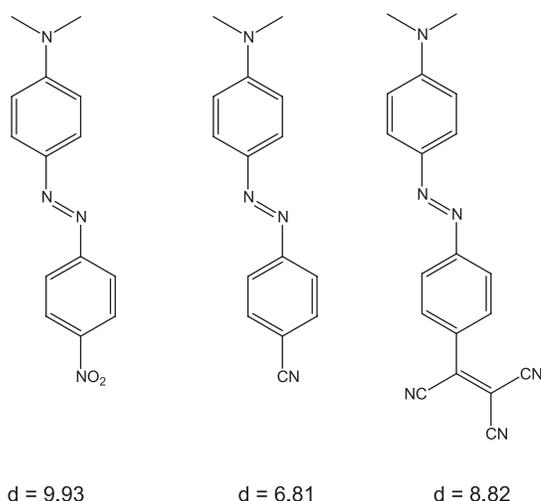


Fig. 2. Algunos compuestos modelo de azobenceno con sus respectivos momentos dipolares, calculados por el método semi-empírico AM1.

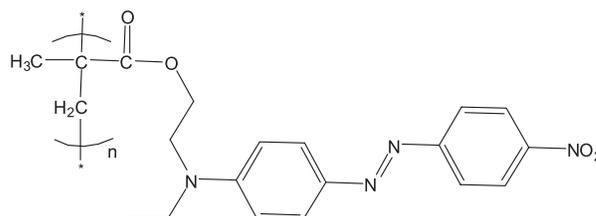


Fig. 3. Estructura de un polímero que contiene unidades de rojo disperso-1 (pDR1).

se muestra en la figura 4. Donde p significa polímero, n indica el número de metilenos presentes en el espaciador flexible, M significa metacrilato y AN se refiere a una unidad de azobenceno amino-nitro sustituido. La síntesis de p2MAN se ilustra a continuación (Fig. 5).

El monómero 2MAN se puede sintetizar a partir de N-metil anilina **1**, ésta se hace reaccionar con 2-iodoetanol en presencia de Na_2CO_3 y DMF para dar el 2-(N-metil-N-

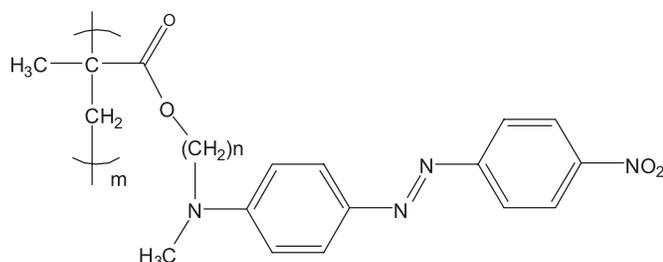


Fig. 4. Estructura general de los polímeros de la serie pnMAN.

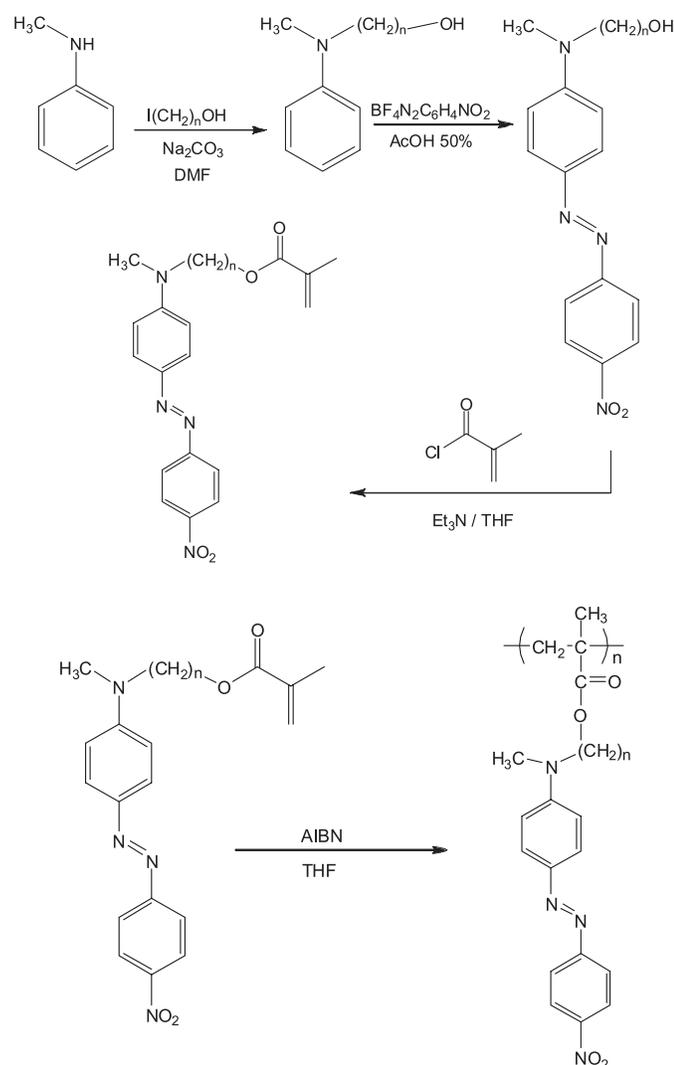


Fig. 5. Síntesis del monomero 2MAN y del polímero p2MAN.

fenil)etanol (**2**). Este compuesto se puede diazoar en presencia de tetrafluoroborato de 4-nitrobenzodiazonio en ácido acético al 50% para dar el 4'-nitro-1-(N-metil-N-(2-hidroxiethyl)azobenceno correspondiente (**3**). Finalmente **3** se puede hacer reaccionar con cloruro de metacrilato en presencia de trietilamina en THF para producir el monómero deseado 2MAN (**4**). Dicho monómero puede polimerizarse utilizando AIBN como iniciador en THF anhidro como disolvente para dar el polímero p2MAN.

Movimientos fotoinducidos

Los azopolímeros con unidades de azobenceno sustituidas con grupos donador-aceptor de alto momento dipolar, al ser irradiados con luz polarizada linealmente dan origen a tres movimientos fotoinducidos [10]. El primero es la fotoisomerización *trans-cis-trans* continua de los grupos azobenceno que se da a nivel molecular. El segundo movimiento fotoinducido es el fotoalineamiento de los cromóforos azobenceno de forma perpendicular al eje de polarización de la luz láser con que son irradiados, el cual se da a nivel de microdominios. Finalmente, el tercer movimiento fotoinducido consiste en el movimiento de cantidades masivas de material polimérico al irradiar una película de azopolímero con luz modulada a diferentes intensidades. Estos movimientos fotoinducidos se explican a continuación.

Primer movimiento fotoinducido: la fotoisomerización *trans-cis* del azobenceno

El azobenceno puede ser considerado como un material fotocromico, es decir, que cambia de color al ser irradiado con luz, ya que tiene dos isómeros *trans* y *cis* (Fig. 6) que absorben a diferentes longitudes de onda. El valor de la absorción máxima depende de los sustituyentes presentes en éstos, así el isómero *trans* del azobenceno no sustituido presenta una longitud de onda máxima de absorción a 313 nm debida a la transición $\pi-\pi^*$ del grupo azo ($\text{N}=\text{N}$), y el isómero *cis* a 436 nm debido a la transición $n-\pi^*$ del mismo (Fig. 7a) [1]. En principio, se podría emplear luz para promover la isomerización *trans-cis* y guardar información hasta la desactivación o isomerización en reversa *cis-trans*. En la práctica, esto no es posible por dos razones: primero porque el cambio en el color no es notable dada la absorptividad más baja del isómero *cis*; segundo, ya que el isómero *cis* es muy inestable y sólo puede conservarse en la oscuridad hasta por un máximo de dos horas antes de regresar a la forma *trans* que es más estable. El *cis*-azobenceno también puede isomerizarse a la forma *trans* térmicamente (Fig. 7b). La velocidad de fotoisomerización para azobencenos de bajo momento dipolar es muy lenta (de minutos a horas). Con sustituyentes donador-aceptor, las absorbancias de ambos isómeros *trans* y *cis* se sobreponen, por lo que dichos azobencenos ya no son fotocromicos. El tiempo de vida media del isómero *cis* es además mucho más corto. Por lo tanto, los azobencenos

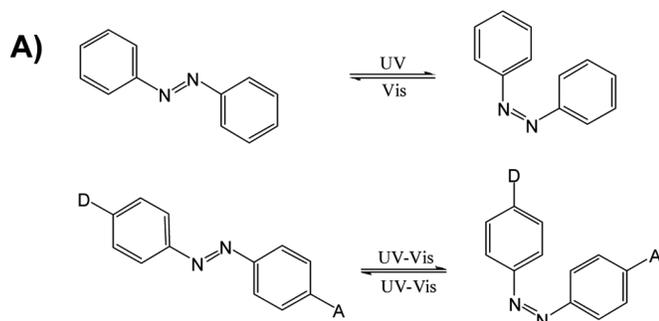


Fig. 6. Fotoisomerización *trans-cis* del azobenceno.

sustituidos con grupos donador-aceptor pueden isomerizarse reversible y continuamente *trans-cis* por tanto tiempo como sean iluminados con luz polarizada linealmente en el rango del UV-vis y la velocidad de fotoisomerización es rapidísima, del orden de los picosegundos. La ilustración esquemática de la fotoisomerización del azobenceno se muestra en la figura 6.

Segundo movimiento fotoinducido: el fotoalineamiento.

En una película amorfa de azopolímero con unidades de azobenceno sustituidas con grupos donador-aceptor y temperatura de transición vítrea (T_g) alta, los grupos azobenceno tienden a estar distribuidos al azar. Al iluminar dicha película con luz polarizada linealmente se activa la fotoisomerización reversible *trans-cis* de los grupos azobenceno que tienen un componente de su dipolo paralelo a la dirección de polarización de la luz. En otras palabras, si los grupos azobenceno están orientados perpendicularmente a la polarización de la luz no se fotoisomerizarán. Por el contrario, los grupos azobenceno que no estén orientados perpendicularmente sí se fotoisomerizarán *trans-cis* de manera reversible y continua, y por consiguiente se moverán ligeramente en el proceso cambiando su posición paulatinamente, y si al final del ciclo de fotoisomerización caen perpendiculares al eje de polarización de la luz se volverán inertes a ésta dejando de moverse. La concentración de grupos azobenceno que caen perpendiculares a la polarización de la luz crecerá gradualmente y eventualmente alcanzará un valor estacionario (Fig. 8a). Por lo tanto al final, el número de cromóforos azobenceno alineados perpendiculares al eje de polarización de la luz habrá aumentado [10,12-13].

Este alineamiento de los grupos azobenceno produce dicroísmo y birrefringencia, fenómenos que son medibles [14,15]. Así pues, cuando una muestra con una orientación no preferida de grupos azobenceno se ilumina con luz polarizada linealmente se obtiene una muestra fotoalineada birrefringente, la cual se puede apreciar por microscopia de luz polarizada, ya que los dominios esmécticos formados (estructura líquido-cristalina donde los mesógenos están orientados en dos dimensiones) presentan una apariencia similar a una estrella (Fig. 8b). El aspecto más interesante de este fenómeno es que

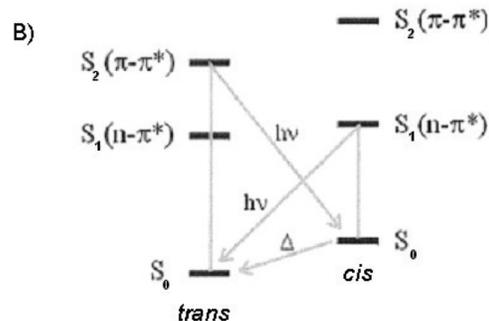
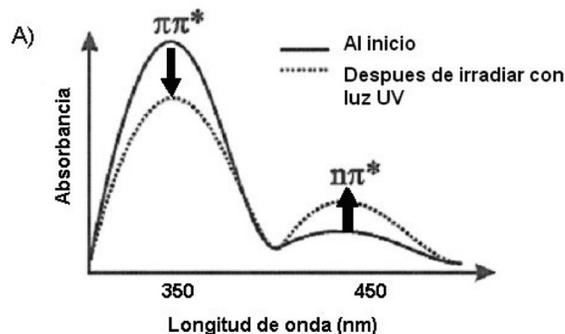


Fig. 7. a) Espectro UV-vis típico de un polímero con unidades de azobenceno de bajo momento dipolar. b) Diagramas de energía para las diferentes transiciones electrónicas.

al iluminar la muestra fotoalineada con luz polarizada circularmente los cromóforos azobenceno se vuelven a fotoisomerizar continuamente *trans-cis* y el cambio continuo de eje de polarización de la luz polarizada circularmente desordena o restaura la orientación inicial al azar de los grupos azobenceno, borrando la birrefringencia [13]. Este proceso se puede monitorear midiendo el ciclo de birrefringencia a medida que el fotoalineamiento se lleva a cabo, lo cual se ilustra en la figura 9. En un inicio se tiene una película con los grupos azobencenos distribuidos al azar que no presenta birrefringencia alguna (A). Al encender la fuente de luz polarizada linealmente los grupos azobencenos comienzan a moverse y a fotoalinearse hasta alcanzar un valor estacionario donde prácticamente todos los cromóforos azobenceno están fotoalineados y la muestra presenta un valor máximo de birrefringencia (B). Al apagar la fuente de luz linear polarizada, algunos grupos azobenceno se relajan y se desalinean perdiéndose alrededor de un 15 a 20% de la birrefringencia (C). Finalmente, se enciende una fuente de luz polarizada circularmente y los azobencenos comienzan a moverse borrándose el fotoalineamiento y disminuyendo la birrefringencia hasta extinguirla (D). Este ciclo se puede repetir numerosas veces antes de que el fotoblanqueo comience a ocurrir [14]. El equipo empleado para medir la birrefringencia se ilustra en la figura 10. El dispositivo usa como fuente de excitación un láser de Ar ionizado que opera a 488 nm y como detector un láser de HeNe que opera a 632 nm. El fotoalineamiento

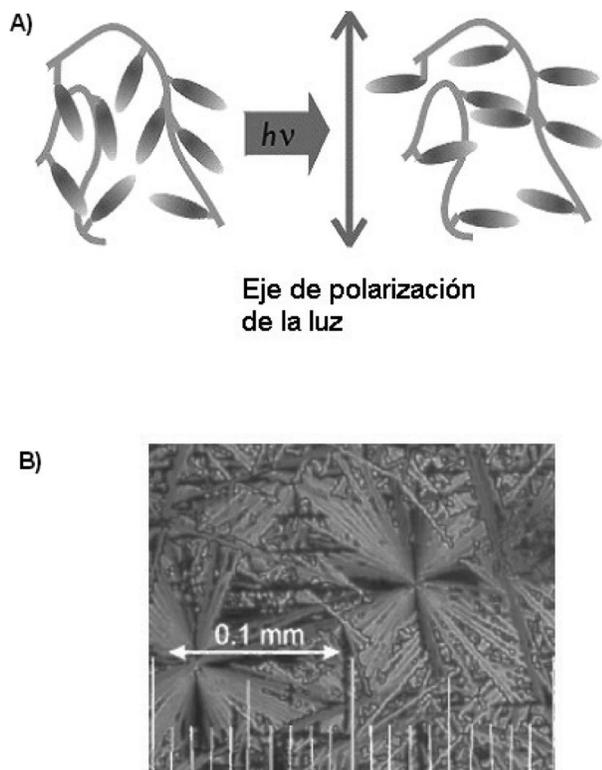


Fig. 8. a) Orientación de los grupos azobenceno de alto momento dipolar en un fragmento de azopolímero, antes y después de ser irradiado con luz lineal polarizada. b) Fotografía de los dominios esmécticos en una película del polímero p4MAN después de ser irradiado con luz lineal polarizada. Imagen obtenida por microscopia de luz polarizada.

miento también puede borrarse térmicamente, calentando la película de azopolímero por encima de la T_g .

Tercer movimiento fotoinducido: movimiento de cantidades masivas de material polimérico

Otro tipo de movimiento mucho más sorprendente a nivel masivo, ocurre al mismo tiempo que la fotoisomerización tiene lugar [15-16]. Si la intensidad del láser de luz es modulada, y golpea la superficie de una película de polímero a diferentes intensidades, es decir, en ciertas zonas con mayor intensidad y en otras con menor, un movimiento masivo de material polimérico puede acompañar a la fotoisomerización. Así pues, estos movimientos no están limitados al grupo azobenceno rígido, sino que involucran varias cadenas poliméricas. Para explicar este fenómeno, podríamos hacer una analogía entre un azopolímero y un tren. En este caso, las unidades de azobenceno, que son los únicos grupos móviles fotoquímicamente, actúan como las locomotoras mientras que el resto del polímero actúa como los vagones que se mueven en concierto arrastrados por los mesógenos móviles. Los volúmenes afectados por este tipo

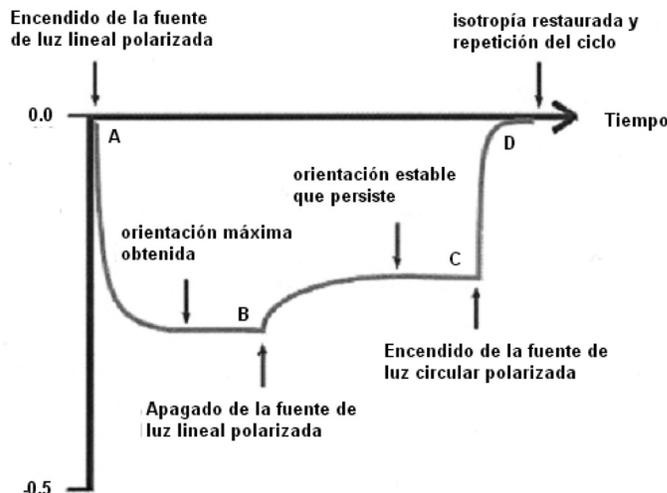


Fig. 9. Medida de la birrefringencia en un azopolímero p4MAN.

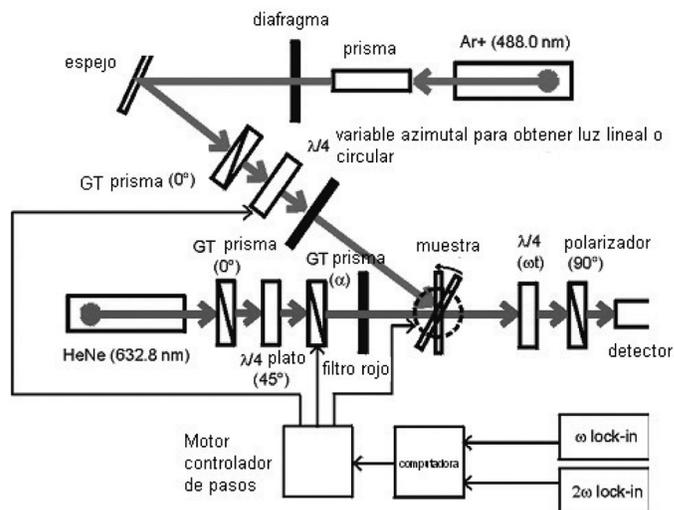


Fig. 10. Equipo para medir birrefringencia.

de movimiento son hasta del orden de micrones cúbicos [15], lo que da origen relieves grabados de superficie fotoinducidos (Fig. 11).

Dichos grabados no son borrables ópticamente al ser irradiados con luz polarizada circularmente, pero son borrables térmicamente al calentar la película por encima de la T_g . Además, es posible escribir sobre ellos conservando los grabados iniciales aún ahí. La microscopia de fuerza atómica (MFA) mostró que la corrugación obtenida con luz láser en películas de polímero de T_g alta era profunda, del orden de cientos de nanómetros, incluso al nivel de micrones [17-21].

Los estudios de relieves fotoinducidos están a la vanguardia a nivel mundial, por un lado porque el mecanismo de formación y control no está del todo esclarecido, y por otro por las múltiples aplicaciones posibles. En colaboración,

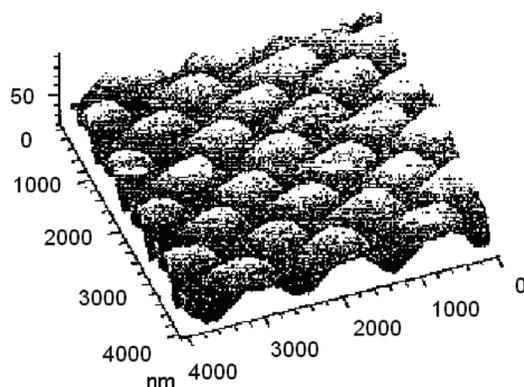


Fig. 11. Relieve grabado de superficie.

los grupos de Pietsch en Alemania y Natansohn en Canadá emplearon la técnica SAXs (small angle X-rays scattering) para monitorear la desaparición de los relieves grabados en una superficie sujetando una muestra de azopolímero a un barrido de temperatura. Sorprendentemente, se encontró que cuando la luz se usa *in situ* junto con calor, el relieve grabado de superficie comienza a desaparecer, lo cual se confirmó por microscopia de fuerza atómica (MFA); en consecuencia un grabado de densidad de volumen o grabado enterrado se forma por debajo de la superficie donde el relieve grabado de superficie estaba presente. El grabado de densidad tiene una eficiencia de difracción similar, pero no es visible por análisis de superficie. Esto significa que por debajo de la superficie de la película de polímero, una fase densa se forma y alterna con una fase menos densa [22]. Esta periodicidad de la estructura enterrada es idéntica a la periodicidad de la deformación de superficie inducida por luz. Es interesante señalar que dicho grabado de densidad puede ser obtenido en una película de polímero de rojo disperso (pDR1) pero no se forma en una película similar de polímero sin la sustitución donador-aceptor en el grupo azobenceno. La explicación sugerida para este fenómeno es la formación de una fase liquido-cristalina (la fase densa) donde los picos de la superficie rugosa existieron antes de calentar. La figura 12 ilustra esquemáticamente la formación de un grabado de densidad.

Otras consecuencias de los movimientos fotoinducidos

Los movimientos fotoinducidos aquí presentados, dan origen a una vasta gama de fenómenos con aplicaciones ópticas y fotónicas interesantes, los cuales se discuten de manera breve y concisa.

Movimientos cooperativos

Se investigaron los niveles de birrefringencia, las velocidades para fotoinducirla, las velocidades de relajación pero

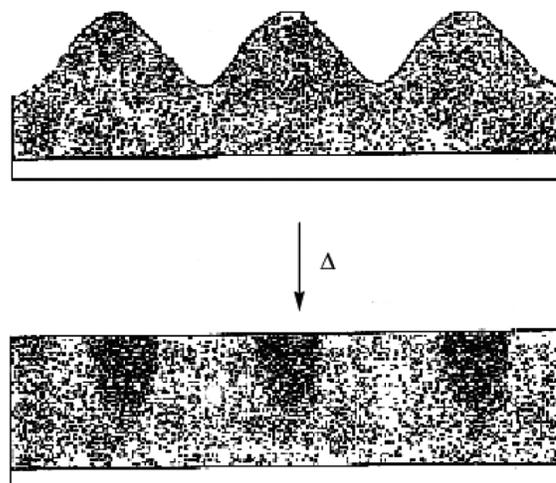


Fig. 12. Formación de un grabado de densidad o enterrado.

sobre todo la relación entre la estructura del polímero y la birrefringencia fotoinducida. Así, se estudiaron varios grupos azobenceno como cromóforos y se incorporaron a estructuras poliméricas de diferentes maneras, como grupos laterales con diferentes tipos de espaciadores de longitudes variables (serie pnMAN) o en el interior de la cadena principal. Se varió la concentración de grupos azobenceno en la película de polímero, sintetizando co-polímeros y preparando mezclas con varios co-monomeros y polímeros respectivamente [23-24]. Cabe mencionar que el resultado más significativo y sorprendente en birrefringencia fotoinducida fue la existencia de movimientos cooperativos por debajo de la T_g del polímero. Los movimientos cooperativos son bien conocidos y entendidos en sistemas ordenados. Cuando algunos de los grupos como el azobenceno en un sistema tal están sujetos a movimiento, en este caso movimiento fotoinducido, la termodinámica conduce a formar fases ordenadas que obligan a cualquier otro grupo para moverse de manera concertada. La figura 13 ilustra un par de co-monomeros estudiados en movimiento cooperativo. Para el par de arriba (Fig. 13), ambos co-monomeros contienen estructuras rígidas cilíndricas de polaridad comparable, una de ellas es un azobenceno, la otra es un éster. Co-polímeros con composiciones que varían entre 0 y 100% de unidades estructurales de azobenceno fueron sintetizados y sus movimientos fotoinducidos fueron analizados por medios ópticos [17] y espectroscópicos [24]. Ambos métodos indican claramente que el grupo azobenceno no sólo cambia su propia orientación cuando se irradia con luz polarizada, sino que también el grupo éster se mueve de manera concertada y coordinada. El movimiento cooperativo del grupo éster es muy poderoso, se puede estimar que del total de la birrefringencia fotoinducida casi el 45% es debida a este grupo. Estos co-polímeros no son semicristalinos ni líquido-cristalinos, por lo que es difícil imaginar que un factor estérico determine de este fenómeno. Ambos, el grupo éster y el grupo azobenceno son polares, y su orientación relativa con la película de copolímero asegura

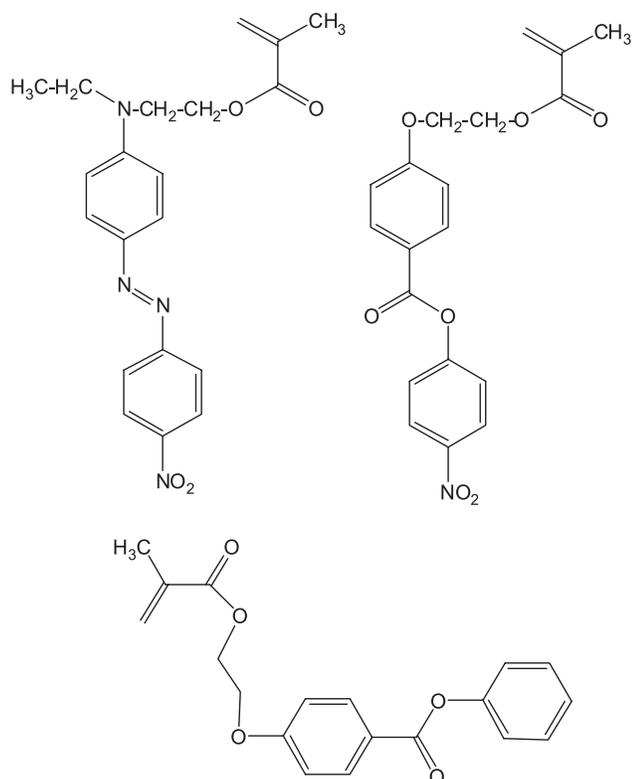


Fig. 13. Co-monomeros utilizados en movimientos cooperativos.

la neutralidad eléctrica de ésta, ya que estos se agregan de forma antiparalela (Fig. 15). Si algunos grupos se mueven (los grupos azobenceno son movidos por la luz polarizada) luego el equilibrio de la distribución dipolar se altera, y el grupo éster puede moverse para restaurar este equilibrio. Para verificar esta creencia, se remplazó el éster de la derecha por el de la parte inferior en la figura 13 y se preparó una serie de co-polímeros cubriendo una amplia gama de composiciones. Las películas de este nuevo co-polímero también fueron sujetas al proceso de birrefringencia fotoinducida, los resultados fueron verdaderamente diferentes. Aun cuando todavía había movimiento cooperativo de los grupos éster de bajo momento dipolar, este movimiento cooperativo era mínimo. Por lo tanto podemos concluir que la polaridad es la principal fuerza motriz del movimiento cooperativo en azo-co-polímeros amorfos muy por debajo de su T_g .

Fotorefractividad

Si pensamos en términos de dispositivos fotónicos, la birrefringencia fotoinducida puede producir guías de onda reversibles, mientras que los relieves fotoinducidos pueden actuar como acopladores de luz dentro y fuera de estas guías de onda fotoinscritas. Por lo tanto, en una simple película de polímero se puede inscribir un “circuito fotónico impreso” utilizando luz únicamente y otra función necesaria sería el switching. Si

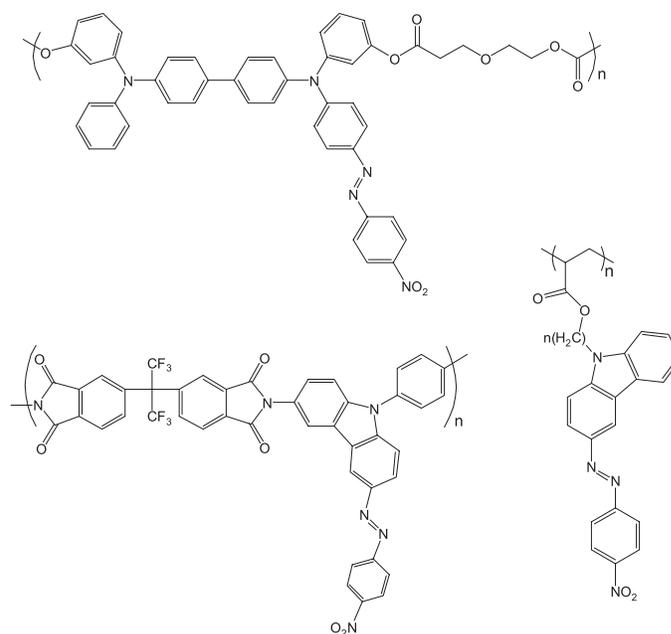


Fig. 14. Algunos polímeros fotorefractivos.

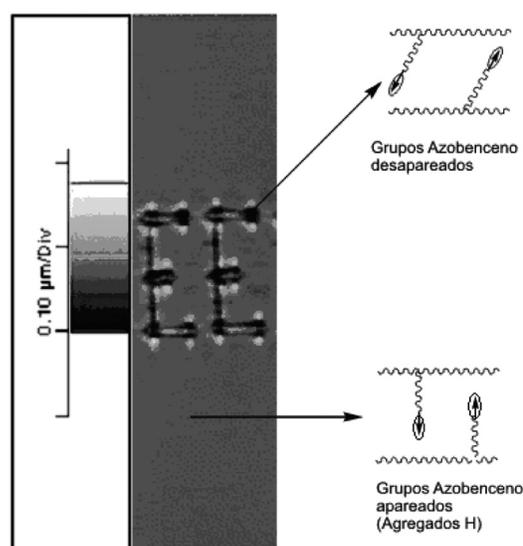


Fig. 15. Fotolitografía en una película de azopolímero.

estos polímeros fueran fotorefractivos lo cual puede verificarse por el procedimiento de dos haces acoplados [25], el switching puede darse electrónicamente. Los requisitos para fotoreactividad en un polímero son: primeramente la posibilidad de modular el índice de refracción con un campo eléctrico, segundo la fotoconducción y finalmente la presencia de atrapadores de carga. Los azopolímeros con grupos donador-aceptor cumplen con la primera condición, ya que los azopolímeros usados poseen propiedades ópticas no lineales (ONL) basadas en su estructura electrónica deslocalizada. Dichos azopolímeros se encontraban entre los primeros prospectos para ser usados

en materiales (OLN) principalmente para la generación del segundo armónico [26]. La presencia de atrapadores de carga se da por un hecho en cualquier material polimérico, por lo tanto la única condición necesaria para que estos polímeros exhiban propiedades fotoreactivas es la fotoconducción. Esto es relativamente fácil de llevar a cabo si se reemplaza el grupo amino terminal del cromóforo azobenceno por un grupo carbazol o tetrametildiaminofenil (TPD), que son grupos fotoconductores por excelencia. La Figura 14 muestra la estructura de algunos polímeros sintetizados que cumplen con todas las propiedades requeridas para la fotorefractividad. Estos polímeros pueden ser ya sea metacrilatos de cadena lateral, análogos a la serie pnMAN [27-28], poliimididas con grupos carbazol, muy estables, en la cadena principal [29] o poliésteres a base de TPD. Ninguno de estos polímeros posee propiedades fotorefractivas óptimas, no obstante los primeros polímeros mencionados en la literatura son los que contienen todos los atributos estructurales requeridos para fotorefractividad en el interior de una unidad estructural y muestran la posibilidad de combinar 3 funciones fotónicas (guías de onda, acoplamiento y switching).

Termo y fotocromismo en azopolímeros

La orientación fotoinducida en polímeros cristales líquidos fue reportada por primera vez en 1987 [4]. Dado que estos materiales tienen una tendencia intrínseca a ordenarse, los niveles de birrefringencia fotoinducida pueden ser mucho más altos que en polímeros amorfos [30]. Por supuesto, la desventaja obvia de tales materiales es que borrar la birrefringencia fotoinducida no es simple, por la misma razón es tan fácil obtener altos grados de orden. La formación de grabados de superficie en azopolímeros líquido- cristalinos también ha sido ampliamente estudiada [31].

Natansohn y col. estudiaron sistemáticamente varios polímeros cristales líquidos de la serie pnMAN (Fig. 4). Una sutil diferencia entre p2MAN y pDR1M, por ejemplo, es el sustituyente en el átomo de nitrógeno del cromóforo. El compuesto modelo contiene un grupo etilo, ya que fue preparado a partir del colorante comercial Rojo disperso-1, y el polímero líquido-cristalino equivalente así como los otros miembros de esta serie, poseen un grupo metilo. Esta diferencia permite un mejor empaque de los cromóforos mesógenos. El polímero p2MAN es líquido-cristalino, mientras que pDR1M no tiene fase termotrópica. Todos los polímeros de la serie pnMAN poseen un estado vítreo, seguido por una región esméctica. Las temperaturas de transición (vítreo-esméctica y esméctica-isotrópica) dependen de la longitud del espaciador.

Estos polímeros muestran un comportamiento termocrómico y fotocromático [32] y ambos dependen de la longitud del espaciador, con dos tipos principales de polímeros. El primero posee un espaciador hasta nueve grupos metileno, forma películas rojizas amorfas por spin-coating. Los cambios de color a naranja son irreversibles después de calentar las películas por

encima de la T_g . Sin embargo, en la fase esméctica, la película se vuelve opaca y el color es de nuevo más rojo que naranja. El segundo tipo, posee espaciadores más largos de nueve grupos metileno, forman películas naranja con spin-coating y sus colores cambian reversiblemente a rojo con calentamiento. En ambos casos, el color naranja es más estable, lo cual se atribuye a un apareamiento antiparalelo (agregación tipo H) de los azocromóforos substituidos con grupos donador-aceptor (Fig. 15). Este cambio de color está acompañado por supuesto por un desplazamiento de la absorción en el espectro electrónico hacia el rojo.

Cuando una película naranja de un polímero de espaciador más corto es irradiada con luz polarizada linealmente, el color cambia de nuevo a rojo. Este cambio es irreversible si la muestra se conserva en la oscuridad. La explicación a este efecto fotocromático es la siguiente: en una película naranja, los cromóforos están en su mayoría apareados en una forma antiparalela (agregación tipo H). La luz polarizada linealmente induce la isomerización y reorientación del grupo azobenceno, rompiendo así los pares. Los cromóforos aislados, que son el resultado de la iluminación, absorben preferentemente a longitudes de onda más altas, así el color de la película cambia de naranja a rojo (Fig. 15). El cambio es muy específico y el contraste es lo suficientemente bueno para permitir el uso de un láser para escribir sobre estas películas de polímero. Obviamente, esto requiere de un espaciador que sea lo suficientemente largo para permitir el movimiento independiente del mesógeno-cromóforo y producir un apareamiento antiparalelo.

Quiralidad fotoinducida y switching

Otra sorpresa mayor por parte de la serie pnMAN fue su comportamiento cuando se iluminó con luz polarizada circularmente en la fase esméctica. Este es el tercer tipo de movimiento mencionado en la parte de movimientos fotoinducidos de esta revisión. Una película de polímero en su fase esméctica consiste de una multitud de dominios esmécticos de varios tamaños y arreglos. Dado que las películas se obtienen por spin-coating, es razonable asumir que la mayor parte de los mesógenos azobenceno están en el plano de la película debido a la fuerza centrífuga de la formación de la misma. Así, las capas esmécticas deberían estar perpendiculares a la superficie de la película y cada dominio debería tener una orientación ligeramente diferente de estas capas. La luz polarizada circularmente incidente será afectada por la primera capa esméctica en la superficie de la película, la cual cambiará su polarización a ligeramente elíptica. La luz ahora ligeramente elíptica que penetra a través a un segundo dominio esméctico cambiará la orientación total de este dominio para orientarlo perpendicular al eje largo de la elipse. Esto a su vez, hará la luz más elíptica y el próximo dominio será afectado incluso más que el segundo y así sucesivamente. Así, la luz polarizada circularmente que ilumina en la película esméctica se moverá a dominios sucesivos en el eje vertical más y más en la dirección de la

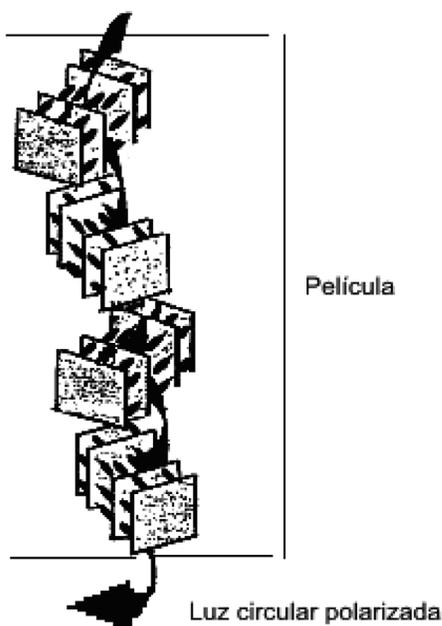


Fig. 16. Arreglos helicoidales supramoleculares en azopolímeros al ser irradiados con luz circular polarizada.

rotación óptica del mismo signo que el de la luz. En otras palabras, la luz polarizada circularmente derecha (D) producirá y fotoinducirá una organización helicoidal derecha (D) de los dominios esmécticos, conforme la luz penetra en la película. A partir de un polímero sin centros quirales en su estructura, se pueden obtener arreglos helicoidales supramoleculares sólo por iluminación (Fig. 16) [33]. Esto se ve claramente en el espectro de dicroísmo circular del material después de ser iluminado. Antes de ser iluminado el material no muestra dicroísmo circular (Fig. 17).

El hecho que la quiralidad puede ser inducida en azopolímeros esmécticos aquirales ha sido previamente reportado [34-37], sólo que recientemente se esclareció la relación entre el signo de la rotación óptica de la luz polarizada circularmente y el signo de rotación de la hélice supramolecular fotoinducida [37]. El aspecto más interesante de este fenómeno, es el hecho de que la luz polarizada circularmente de signo opuesto puede desenrollar la hélice supramolecular fotoinducida para producir de nuevo el material aquiral. Esto significa que el irradiar estos materiales con luz polarizada circularmente del signo opuesto, opera como un switch óptico, como se ilustra en la figura 17. Se puede observar un ligero decrecimiento de valor de dicroísmo circular después de algunos ciclos, esto es debido a la tendencia de la luz circular polarizada a alinear los cromóforos perpendiculares a su polarización, en la dirección de la propagación de la luz. Cuando los cromóforos están perpendiculares a la superficie de la película no contribuyen al espectro de dicroísmo circular. El valor inicial para dicroísmo puede ser recobrado después de calentar la película por encima de la temperatura de isotropización, así el dicroísmo disminuye.

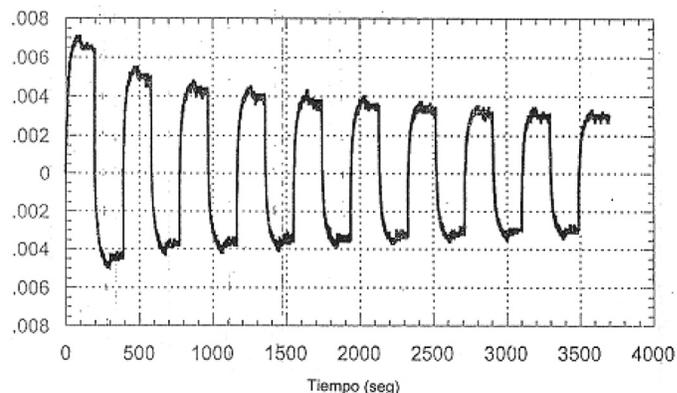


Fig. 17. Estudio de la quiralidad en un azopolímero por dicroísmo circular.

Movimientos macroscópicos de objetos sobre una superficie cubierta de una película Langmuir-Blodgett de azopolímero.

Hasta ahora, sólo hemos hablado de azopolímeros con azobencenos sustituidos con grupos donador-aceptor de alto momento dipolar y alta velocidad de fotoisomerización, es decir, "pseudoestilbenos". No obstante, cabe señalar que ciertos azopolímeros con unidades de azobenceno de bajo momento dipolar también presentan aplicaciones interesantes. El grupo de Ichimura [38] reportó el movimiento de una gota de aceite de oliva depositada sobre una película Langmuir-Blodgett recubierta de calix(4)resorcinarenos con 4 unidades de p-octilazobenceno (Fig. 18). La gota se depositó en una posición definida sobre la película conteniendo unidades de p-octilazobenceno. Estas al ser irradiadas con luz UV pasaron de la configuración *trans* a la *cis*, cambiando el ángulo de contacto y por ende la tensión superficial, expandiendo la gota sobre la película. Cuando la película irradió con luz azul a 436 nm, de forma asimétrica, es decir, con mayor intensidad en la parte izquierda y menor en la parte derecha (Fig. 18), las unidades de *cis*-p-octilazobenceno (corto) se fotoisomerizan reversi-

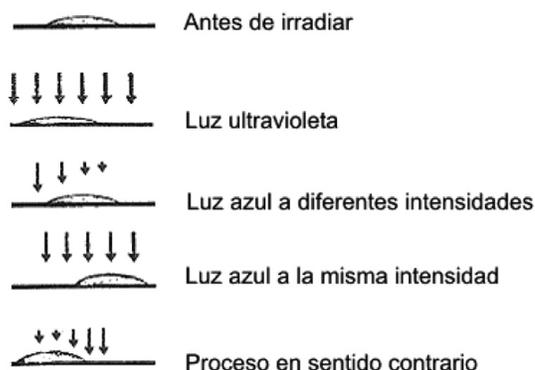


Fig. 18. Movimiento de una gota de aceite de oliva sobre una película de azopolímero promovido por luz.

blemente al isómero *trans* (más largo) desplazando la gota de aceite en dirección opuesta a la parte iluminada con mayor intensidad. Si la película se irradia en su totalidad con luz azul de intensidad uniforme el movimiento cesa. Para este mismo experimento se emplearon intensidades del orden de 1 mW/cm² durante 100 s. Ichimura realizó este experimento con otros fluidos usando diferentes variantes. Como puede apreciarse los movimientos fotoinducidos en películas de azopolímeros, en este caso el más simple de todos, la fotoisomerización *trans-cis* seguida de su contraparte *cis-trans*, pueden traer consigo el movimiento de objetos ligeros depositados sobre una superficie recubierta de azopolímero.

Posibles aplicaciones fotónicas

Existen varias aplicaciones fotónicas posibles de los fenómenos aquí reportados, de los cuales el almacenaje óptico reversible, tanto digital como holográfico, es el más obvio. Esta aplicación es muy atractiva ya que el procedimiento de escritura es relativamente rápido y fácil, la estabilidad a largo plazo y el borrado son procedimientos muy sencillos y eficientes. El almacenaje digital puede ser perfeccionado punto por punto, lo que permite flexibilidad para el proceso, mientras que el almacenaje holográfico puede ser pretendido en escala tridimensional, dada la posibilidad de almacenar más de una imagen en la misma película de polímero, rotando la película bajo exposición.

Aún más atractiva es la posibilidad de construir un dispositivo fotónico completo en una simple película de azopolímero. El segundo movimiento fotoinducido permite líneas de escritura, así como puntos, y estas líneas pueden actuar como guías de onda, confinando una señal óptica dentro de ellas. Los grabados de superficie pueden actuar como acopladores de luz dentro y fuera de estas guías de onda, y la fotorefractividad permite el switching de las señales de luz entre dos diferentes caminos ópticamente trazados en la película de azopolímero. Aparte de estas dos aplicaciones principales, los filtros fotónicos, separadores de polarización, reconocimiento de forma, orientación de cristales líquidos y switching, existen muchas otras posibles aplicaciones fotónicas, algunas de las cuales ya han sido estudiadas [39].

Conclusión

Los azopolímeros pueden ser considerados como materiales versátiles desde el punto de vista práctico, dada su respuesta a la luz y los movimientos fotoinducidos. Estos materiales tienen un gran potencial para aplicaciones ópticas y fotónicas.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a la profesora Almeria Natansohn (q.e.p.d.) y al profesor Paul Rochon así

como a mis excolegas del grupo Natansohn, especialmente al doctor Stephan Freiberg y al doctor Dennis Hore por las discusiones que tuvimos, que fueron muy valiosas para la elaboración de esta revisión.

Referencias Bibliográficas

1. Rau, H., in: *Photochemistry and Photophysics*, Vol II, J.K. Rabek., Ed., Boca Raton, Florida, **1990**, p. 119.
2. Kumar, G.S.; Neckers, D.C. *Chem. Rev.* **1989**, *89*, 1915-1925.
3. Todorov, T.; Nikolova L.; Tomova, N. *Appl. Opt.* **1984**, *23*, 4309-4315.
4. Eich, M.; Wendorff, J.; Reck, B.; Ringsdorf, H. *Makromol.Chem.* **1987**, *8*, 59-63.
5. Ichimura, K.; Suzuki, Y.; Seki, T.; Horoki, A.; Aoki, K. *Langmuir* **1988**, *4*, 1214-1216.
6. Xie, S.; Natansohn, A.; Rochon, P. *Chem. Mater.* **1993**, *5*, 403-411.
7. Viswanathan, N.K.; Kim, D.Y.; Bian, S.; Williams, J.; Liu, W.; Li, L.; Samuelson, L.; Kumar, J.; Tripathy, S. *J. Mater. Chem.* **1999**, *9*, 1941-1948.
8. Ichimura, K. *Chem. Rev.* **2000**, *100*, 1847-1874.
9. Delaire, J.A.; Nakatani, K. *Chem. Rev.* **2000**, *100*, 1817-1846.
10. Natansohn, A.; Rochon, P. *Chem. Rev.* **2002**, *102*, 4139-4176.
11. Freiberg, S.; Lagugné-labarthe, F.; Rochon, P.; Natansohn, A. *Macromolecules* **2003**, *36*, 2680-2688.
12. Rochon, P.; Gosselin, J.; Natansohn, A.; Xie, S. *Appl. Phys. Lett.* **1992**, *60*, 4-5.
13. Natansohn, A.; Rochon, P.; Gosselin, J.; Xie, S. *Macromolecules* **1992**, *25*, 2268-2273.
14. Natansohn, A.; Rochon, P., in: *Progress in Pacific Polymer Science: Photonic and optoelectronic polymers*, Vol. 3, K.P. Ghiggino Ed., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, **1994**, 295-302.
15. Rochon, P.; Batalla, E.; Natansohn, A. *Appl. Phys. Lett.* **1995**, *66*, 136-138.
16. Kim, D.Y.; Tripathy, S.K.; Li, L.; Kumar, J. *Appl. Phys. Lett.* **1995**, *66*, 1166-1168.
17. Natansohn, A.; Rochon, P.; Meng, X.; Barrett, C.; Buffeteau, T.; Bonenfant, S.; Pezolet, M. *Macromolecules* **1998**, *31*, 1155-1161.
18. Barrett, C.J.; Natansohn, A.L.; Rochon, P.L. *J. Phys. Chem.* **1996**, *100*, 8836-8842.
19. Barrett, C.J.; Rochon, P.L.; Natansohn, A.L. *J. Chem. Phys.* **1998**, *109*, 1505-1513.
20. Pedersen, T.G.; Johansen, P.M. *Phys. Rev. Lett.* **1997**, *79*, 2470-2477.
21. Lefin, P.; Fiorini, C.; Nunzi, J.M. *Pure Appl. Opt.* **1998**, *7*, 71-82.
22. Pietsch, U.; Rochon, P.; Natansohn, A. *Adv. Mater.* **2000**, *12*, 1129-1132.
23. Meng, X.; Natansohn, A.; Barrett, C.; Rochon, P. *Macromolecules* **1996**, *29*, 946-952.
24. Buffeteau, T.; Natansohn, A.; Rochon, P.; Pezolet, M. *Macromolecules* **1996**, *29*, 8783-8790.
25. Moerner, W.E.; Silence, S.M. *Chem. Rev.* **1994**, *94*, 127-155.
26. Burland, D.M.; Miller, R.D.; Walsh, C.A. *Chem. Rev.* **1994**, *94*, 31-75.
27. Ho, M.S.; Barrett, C.; Paterson, J.; Esteghamatian, M.; Natansohn, A.; Rochon, P. *Macromolecules* **1996**, *29*, 4613-4618.
28. Barrett, C.; Choudhury, B.; Natansohn, A.; Rochon, P. *Macromolecules* **1998**, *31*, 4845-4851.
29. Chen, J.P.; Lagugne-Labarthe, F.; Natansohn, A.; Rochon, P. *Macromolecules* **1999**, *32*, 8572-8579.
30. Zilker, S.J.; Bieringer, T.; Haarer, D.; Stein, R.S.; Egmond, J.W.; Kostromine, S.G. *Adv. Mater.* **1998**, *10*, 855-859.
31. Ramanujam, P.S.; Pedersen, M.; Hvilsted, S. *Appl. Phys. Lett.* **1999**, *74*, 3227-3229.

32. Lagugné-Labarthe, F.; Freiberg, S.; Pellerin, C.; Pezolet, M.; Natansohn, A.; Rochon, P. *Macromolecules*, **2000**, 33, 6815-6823.
33. Natansohn, A.; Rochon, P., in: *ACS Symposium Series: Photonic and optoelectronic polymers*, Vol. 3, K.J. Wynne and S.A. Jenekhe Ed., American Chemical Society, Washington D.C., **1997**, 236-247.
34. Iftime, G.; Lagugne-Labarthe, F.; Natansohn, A.; Rochon, P. *J. Am. Chem. Soc.* **2000**, 122, 12646-12650.
35. Naydenova, I.; Nikolova, L.; Ramanujam, P.S.; Hvilsted, S. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **1999**, 1, 438-446.
36. Ivanov, M.; Naydenova, I.; Todorov, T.; Nikalova, L.; Petrova, T.; Tomova, N.; Dragostinova, V. *J. Mod. Opt.* **2000**, 47, 861-868.
37. Nikolova, L.; Nedelchev, L.; Todorov, T.; Petrova, T.; Hvilsted, S. *Appl. Phys. Lett.* **2000**, 77, 657-659.
38. Ichimura, K.; Oh, S.K.; Nakagawa, M. *Science* **2000**, 288, 1624-1626.
39. Natansohn, A.; Rochon, P. *Adv. Mater.* **1999**, 11, 1387-1391.

Sobre el curso *Temas Selectos en Síntesis Orgánica* organizado por la Sociedad Química de México y la Facultad de Química de la UNAM, impartido en enero del 2008

José Norberto Farfán

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Escolar, Ciudad Universitaria. Coyoacán 04510. México, D. F.

Como parte de su programa de actividades académicas, la Sección Valle de México de la Sociedad Química de México (SVM-SQM), que es presidida por la doctora Patricia Aceves Pastrana, organizó, en colaboración con la Facultad de Química de la UNAM, el curso *Temas Selectos en Síntesis Orgánica*, el cual se llevó a cabo del 21 al 23 de enero del 2008 en las instalaciones de la propia Facultad. El tema del curso fue seleccionado debido a la gran importancia de la síntesis orgánica en amplios ámbitos del ejercicio profesional de las ciencias químicas, por lo que fue dirigido tanto a estudiantes y profesores como a profesionistas relacionados con el área. El curso fue coordinado por los doctores Alfredo Vázquez Martínez y José Norberto Farfán García, vocales académicos de la SVM-SQM, y por el IQM Héctor Cárdenas, pro-tesorero de la misma sección; todos ellos académicos de la UNAM. Este evento forma parte de una serie de cursos programados por la SVM-SQM y participaron como ponentes investigadores de diferentes instituciones educativas.

Los temas abordados en el curso fueron impartidos por el doctor Héctor Luna Contla de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, quien desarrolló el tema referente a "Síntesis orgánica catalizada por enzimas", mientras que el doctor Eusebio Juaristi y Cosío del CINVESTAV-IPN presentó el tema "Organocatálisis asimétrica". Por su parte, los doctores Gerardo Zepeda y Joaquín Tamariz Mascarúa de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN participaron con los

temas "Auxiliares quirales en síntesis orgánica" y "Reacciones de cicloadición de Diels-Alder y dipolares-1,3 de sistemas dienos y olefinas polisustituidas", respectivamente. El doctor Luis Demetrio Miranda presentó el tema "Los radicales libres en síntesis orgánica", mientras que el doctor Roberto Martínez lo hizo con el tema "Búsqueda de nuevos agentes citotóxicos mediante modificaciones moleculares", ambos del Instituto de Química de la UNAM. Finalmente, los académicos de la Facultad de Química de la UNAM, M. en C. José Manuel Méndez Stivalet, el Q. Fernando León Cedeño y el doctor Alfredo Vázquez Martínez participaron impartiendo los temas: "Síntesis de compuestos heterocíclicos aromáticos", "Uso de las microondas en síntesis orgánica" y "Algunos conceptos básicos en síntesis orgánica", respectivamente.

Durante la inauguración, el director de la Facultad de Química de la UNAM, doctor Eduardo Bárcena García, resaltó la importancia de este tipo de eventos, haciendo un reconocimiento a la calidad de los ponentes, quienes son académicos ampliamente reconocidos en su área de especialidad, además de mencionar que difícilmente se podría organizar un curso de tan alto nivel sin la participación de las principales entidades de educación superior, por lo que era muy grato contar con la participación de la Universidad Autónoma Metropolitana, del Instituto Politécnico Nacional y de la UNAM, reconociendo ampliamente la loable labor de los organizadores del



Foto 1. Parte de la audiencia del curso sobre "Temas Selectos en Síntesis Orgánica".



Foto 2. Alfredo Vázquez Martínez, de la Facultad de Química de la UNAM



Foto 3. Joaquín Tamariz Mascarúa, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN.

curso y de la Sociedad Química de México. Por su parte, el doctor Guillermo Delgado Lamas, Presidente Nacional de la Sociedad Química de México, hizo notar que la asociación está constituida por varias secciones en la república y que tiene como principal objetivo la realización de las acciones que coadyuvan al desarrollo de las ciencias químicas en nuestro país. Mencionó que un ejemplo de estas acciones es precisamente este curso y recordó que a lo largo de los 52 años de existencia de la Sociedad Química de México y 92 años de la Facultad de Química “hemos realizado un gran número de actividades de manera conjunta, entre ellas, más de ochenta eventos a nivel nacional e internacional, incluidos el Congreso Mexicano de Química y el Congreso Nacional de Educación Química, que se llevan a cabo anualmente desde hace varias décadas”. Además, recordó la estrecha relación que siempre

ha mantenido la Sociedad Química de México con las principales instituciones de educación superior del país relacionadas con las ciencias químicas.

El curso tuvo gran aceptación entre la comunidad, ya que asistieron estudiantes de licenciatura, posgrado, académicos e investigadores de la industria química, los que sumaron más de 220 asistentes, provenientes de diversas instituciones, tales como la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Politécnico Nacional, la UNAM (Ciudad Universitaria, Cuauhtlán y Zaragoza), la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, la Universidad de Autónoma de Guanajuato y la empresa Signa, entre otras.

Esta actividad académica fue videograbada y el disco compacto se encuentra disponible a la venta como libro electrónico en las oficinas de la Sociedad Química de México.

LA SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO, SECCIÓN VALLE DE MÉXICO,
Y LA FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNAM,
invitan a profesionales, profesores y estudiantes al

Curso Temas Selectos en Síntesis Orgánica



21 al 23 de enero de 2008

Auditorio B, Facultad de Química, UNAM

Alberto Bremauntz Monge, Ingeniero Químico (1932-2006)

Francisco Barnés de Castro

Comisión Reguladora de Energía. Secretaría de Energía. Horacio 1750, Col. Los Morales Polanco, México 11510, D.F.

Escribir sobre el ingeniero Alberto Bremauntz presenta el reto de disociar al hombre de la leyenda, porque las anécdotas que se cuentan sobre nuestro querido Alberto son tantas y tan disímiles, que cuesta trabajo encontrar la verdadera. Seguramente todas ellas tienen algo de verdad. Yo mismo he escuchado más de una versión de los hechos o dichos de Alberto que me tocó presenciar, y en los que mi versión no coincide plenamente con otras.

Hombre que gustaba generar, en broma y en serio, la polémica e incluso ser parte de ella. La intensidad con que vivió toda su vida contribuye a mantenerlo presente permanentemente de una manera o de otra. Quién no lo recuerda saludando cortésmente a la audiencia diciéndoles: “Amigos y enemigos”.

Su carácter polifacético y su espíritu triunfador contribuyen, desde luego, a alimentar toda clase de historias que se cuentan en torno a él; la ingeniería química, la docencia y el deporte —no sé en qué orden— además de su familia, fueron su pasión cotidiana.

Como ingeniero químico sus logros, bien conocidos, fueron innumerables y lo llevaron a ocupar las más altas posiciones en empresas como Somex y Petróleos Mexicanos, en las que dejó profunda huella a su paso. Recibió por su desempeño muy diversos reconocimientos de distintas asociaciones profesionales e industriales, entre ellas, el Premio Nacional de Química Andrés Manuel del Río de la Sociedad Química de México en 1980, y particularmente, el reconocimiento de las personas que colaboraron con él a lo largo de su vida profesional.

En la docencia, su presencia fue tan grande y abarcó un período tan prolongado, que entre los ingenieros químicos es frecuente encontrar que, cuando se reúne un grupo de profesionistas, algunos de ellos fueron sus alumnos. Pero aún quienes no lo fueron, pero cursaron la carrera en la UNAM o en el IPN, lo conocían desde sus épocas de estudiantes. Maestro con una trayectoria admirable, fue siempre reconocido y respetado en el ámbito académico por estudiantes, profesores e investigadores.

Paradójicamente, mientras mantenía grupos muy concurridos en las materias que impartía, debido al alto aprecio por parte de los estudiantes, su nombre y figura aparecía frecuentemente en los judas de las tradicionales “quemada de batas” de la Facultad de Química de la UNAM, recordando las penurias que, como docente estricto que era, había hecho padecer a algunos alumnos. Numerosos reconocimientos de los propios alumnos se suman a la larga lista de distinciones en su currículum.

Se desempeñó como Presidente de la Sociedad Química de México durante 1981-1982, y él mismo escribió recientemente sobre sus impresiones sobre la industria química en



Alberto Bremauntz en el Museo de Geología, Jaime Torres Bodet 17, Col. Santa María la Ribera, México, D. F., antigua sede de la Sociedad Química de México. Foto del archivo de la *Sociedad Química de México*.

México en lo que posiblemente haya sido su última contribución escrita [1].

En el deporte alcanzó la enorme distinción de haber pertenecido dos veces al Equipo Olímpico Mexicano, y haber representado a México en diversas ocasiones en campeonatos mundiales en la especialidad de lucha. Fue miembro ejecutivo y posteriormente miembro permanente del Comité Olímpico Mexicano. Fue Presidente-Fundador de la Federación Mexicana de Kendo y un entusiasta promotor de esta disciplina y del deporte en general.

Su partida deja un gran vacío en el ámbito de la ingeniería química, en la Facultad de Química de la UNAM, y en un numeroso grupo de amigos entre quienes me incluyo.

Que en paz descanse.

Referencias

1. Bremauntz, A. Comentarios sobre la Industria Química en México y sobre la Sociedad Química de México. *Bol. Soc. Quím. Méx.* 2007, 1, 150-152.

Comentario sobre los libros *Environmental Chemistry: Fundamentals* y *Environmental Chemistry: Microscale Laboratory Experiments* de Jorge G. Ibáñez, Margarita Hernández, Carmen Doria-Serrano, Arturo Fragoso-Infante, Mono Mohan Singh. Springer: Nueva York, 2007

Pedro F. Zárate-Del Valle, Sergio Gómez Salazar

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI). Universidad de Guadalajara, Guadalajara 44281, Jalisco, México.

La obra completa *Environmental Chemistry*, escrita en inglés, consta de dos volúmenes: un libro de teoría (*Fundamentals*) y un libro de prácticas (*Microscale Laboratory Experiments*). El tema central de la obra es de gran interés y actualidad. Trata de no solo de la ciencia ambiental, y sino también de la Química Verde, es decir, la aplicación de la ciencia química para prevenir la contaminación del ambiente.

Se trata de una obra actualizada escrita por químicos e ingenieros químicos, no por ello dirigido únicamente a los especialistas de la Química, sino que también está dirigido a aquellos profesores, alumnos, investigadores y autoridades que más que preocupados, estén ocupados en resolver, mitigar y evitar el deterioro de la única casa que tenemos y compartimos los seres humanos: nuestro planeta Tierra, el cual se caracteriza por sostener un delicado equilibrio entre sus componentes físicos, químicos y biológicos, así como por manifestar una rutina cíclica de los fenómenos naturales que en ella ocurren, ciclos que son fáciles de alterar y/o modificar.

El libro *Environmental Chemistry: Fundamentals* consta de 334 páginas y está organizado en tres partes: la primera trata con los conceptos teóricos de la química aplicada a la problemática ambiental, estando desarrollada en tres capítulos bien organizados que ocupan un 20% del libro. La segunda parte consta de 4 capítulos que corresponden al 30% del texto y se ocupan de describir las características fisicoquímicas, geológicas y bioquímicas de los tres ambientes en donde se desarrolla la vida en nuestro planeta: el agua, la tierra y el aire, los cuales también son los elementos que en sí mismos constituyen las matrices o fases en donde se acumulan los contaminantes: agua, sedimento, suelo y aire. La tercera y última parte que ocupa el 50% del libro, consta de 5 capítulos. En ellos, los autores exponen primero los efectos de la contaminación tanto en la atmósfera, hidrósfera y litósfera como en la biósfera, para después explicar los tratamientos físicos, fisico-químicos y biológicos que se deben aplicar a los ambientes contaminados y a los desechos sean éstos sólidos, líquidos y/o gaseosos. En el último capítulo, los autores ponen énfasis en los tres aspectos fundamentales de un desarrollo sustentable: la ecología industrial, el reciclado y la química verde como pautas para minimizar y prevenir la contaminación de nuestro planeta.

El segundo libro, *Environmental Chemistry: Microscale Laboratory Experiments* consta de 24 experimentos en

microescala agrupados en cinco secciones: Caracterización de aguas, algunas propiedades y fenómenos importantes desde la perspectiva ambiental, estrategias de remediación y de producción de desinfectantes, recuperación y reuso (incluyendo química verde), y aspectos biológicos. Los experimentos tienen proyectos adicionales propuestos y varios problemas sobre el tema en cuestión.

Los autores de la obra son ampliamente reconocidos en el ámbito de las ciencias químicas en México y en particular, en las áreas de la química ambiental, los experimentos de química a microescala y la química verde. Recomendamos ampliamente estos libros para que se encuentren a la mano, tanto de estudiantes y profesores de pregrado y de posgrado, así como de las autoridades competentes cuya responsabilidad social es la minimización y prevención de la contaminación ambiental en la época actual así como la restauración y preservación de nuestro ambiente para las generaciones futuras. También es deseable su disponibilidad en todas las bibliotecas especializadas en ciencias. Por ello es recomendable su traducción al español para que se facilite su consulta por parte del público hispano parlante interesado en temas ambientales, en la química a microescala, en la química verde.

- a) *Environmental Chemistry: Fundamentals* por: Jorge G. Ibáñez, Margarita Hernández-Esparza, Carmen Doria-Serrano, Arturo Fregoso-Infante y Mono Mohan Singh.

Editado por: Springer: Nueva York, 2007. Precio USD \$89.95. 334 pp. ISBN 978-0-387-26061-7. (Pasta Dura).

<http://www.springer.com/west/home/generic/search/results?SGWID=4-40109-22-90284071-0>

- b) *Environmental Chemistry: Microscale Laboratory Experiments*

Jorge G. Ibáñez, Margarita Hernández, M. Carmen Doria, Arturo Fregoso-Infante, Mono Mohan Singh. Springer, New York. Editado por: Springer: Nueva York, 2007. Precio USD \$49.95. 238 pp. ISBN 978-0-387-49492-0. (Encuadernado Espiral).

<http://www.springer.com/west/home/generic/search/results?SGWID=4-40109-22-173705138-0>

Sociedad Química de México

Mesas Directivas

COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL 2007-2008

Dr. E. Guillermo Delgado Lamas
Presidente Nacional

Dr. Eusebio Juaristi Cosío
Presidente Nacional Electo

Dr. René Miranda Ruvalcaba
Secretario

M. en C. Natalia de la Torre Aceves
Prosecretaria

Quím. Jorge Ebrard Maure
Tesorero

Q.F.B. Consuelo García Manrique
Protesorera

Dra. Leticia Lomas Romero
Vocal Académico

Dra. María Del Jesús Rosales Hoz
Vocal Académico

Dra. Cecilia Anaya Berrios
Vice-Vocal Académico

Dr. Mario Fernández Zertuche
Vice-Vocal Académico

Dr. Francisco Patino Cardona
Vocal Industrial

Dr. Pedro Valle Vega
Vocal Industrial

M. en C. José Miguel Lazcano Seres
Vice-Vocal Industrial

Dra. Delia Aideé Orozco Hernández
Vice-Vocal Industrial

COMITÉ DIRECTIVO SECCIÓN VALLE DE MÉXICO 2007-2008

Dra. Patricia Aceves Pastrana
Presidenta

Dra. Lena Ruiz Azuara
Vicepresidenta

Dr. Gabriel E. Cuevas González-Bravo
Secretario

Dr. Luis G. Zepeda Vallejo
Prosecretario

Dr. Eduardo González Zamora
Tesorero

Ing. Héctor Cárdenas Lara
Protesorero

Dra. María Isabel Aguilar Laurents
Vocal Académico

Dr. Norberto Farfán García
Vocal Académico

Dr. José Francisco Delgado Reyes
Vice-Vocal Académico

Dr. J. Alfredo Vázquez Martínez
Vice-Vocal Académico

Dra. Georgina Laredo Sánchez
Vocal Industrial

Dra. Fabiola Monroy Guzmán
Vocal Industrial

Dr. Vicente E. Ridaura Sanz
Vice-Vocal Industrial

I.Q. Víctor Manuel Urbina Bolland
Vice-Vocal Industrial

SECCIONES LOCALES PROFESIONALES**MONTERREY, NUEVO LEÓN**

Biulah Rodríguez Muñoz
Presidenta

SALTILLO, COAHUILA

Catalina María Pérez Berumen
Presidenta

Aideé Sáenz Galindo
Secretaria

Leticia Barajas Bermúdez
Coordinadora Académica

SECCIONES ESTUDIANTILES**CUERNAVACA, MOR.**

Angélica Anahí Pasi3n Nava
Presidenta

María Guadalupe Añorve González
Vicepresidenta

María Guadalupe Morales Vilchis
Secretaria

Kenia Alelí Lozano Aranda
Prosecretaría

Esteban Flores Martínez
Tesorero

Samantha Torres Escamilla
Protesorero

Anabel Vázquez Santiaguillo
Vocal Industrial

Emmanuel Estrada Partida
Vocal Industrial Suplente

Omar Landa Mercado
Vocal Académico

Dora Yazmín Linares Chávez
Vocal Académico Suplente

ORIZABA, VERACRUZ

Alexis Raúl López Robles
Presidente

Miguel Ángel Gómez Rojas
Vicepresidente

César Vladimir Yañes Montiel
Vocal

Mariana García Jiménez
Secretaria

SALTILLO, COAHUILA

Luis Alberto Reyna Medina
Presidente

Brenda Nataly Sánchez Eguía
Vicepresidenta

Arturo Adrián Rodríguez Rodríguez
Secretario

Anayantzin Hernández Ramírez
Prosecretario

Joel Orlando Ovalle Rodríguez Medina
Tesorero

Julia Cecilia Anguiano Cabello
Protesorero

Mónica Lizeth Chávez González
Vocal A

Adriana Siller Cenicer0s
Vocal B

Jorge Carlos Ríos Hurtado
Esperanza de Jesús Salas Méndez
Vocales Suplentes

ESIQIE – IPN

Samuel Oropeza Estrada
Presidente

Luis Fernando Maldonado Molina
Vicepresidente

Adriana Pillado Millán
Secretaria

Rubén Martínez del Ángel
Tesorero

Gabriel Muñoz Flores
Coordinador de logística

Maricruz Labastida Vidal
Vocal

Fernando Jesús Vergara Mejía
Vocal