

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DOCENCIA DESDE LA INGENIERÍA QUÍMICA AMBIENTAL¹

Palabras clave: Procesos avanzados de oxidación; Ingeniería química ambiental; Ingeniería de reactores fotocatalíticos; Ingeniería de reactores foto-Fenton.
Key words: Advanced oxidation processes; Environmental chemical engineering; Photocatalytic reactor engineering; Photo-Fenton reactor engineering.

El diseño de reactores fotoquímicos, con lámparas o solares, especialmente los dedicados a desinfección y descontaminación, fue la constante en la trayectoria del autor, fiel representante de la fuerte tradición en Ingeniería Química de Santa Fe.

■ **Orlando Mario Alfano**

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la
Industria Química (INTEC, Universidad
Nacional del Litoral-CONICET)

alfano@intec.unl.edu.ar;
alfano@santafe-conicet.gov.ar

¹ Editor asignado: **Miguel A. Blesa**

■ 1. UNA FAMILIA ITALIANA

Uno de mis mayores compromisos ha sido siempre la formación de recursos humanos, tanto en la docencia universitaria de grado y posgrado como en la dirección o codirección de becarios e investigadores jóvenes. En esta reseña no solo voy a detallar algunos aspectos personales y de mi trayectoria científica, sino también de mi interés y participación durante más de cuarenta años en la formación de ingenieros y estudiantes de posgrado en los dos doctorados en ingeniería de la Universidad Nacional del Litoral: el Doctorado en Ingeniería Química y el Doctorado en Ingeniería Mención Ambiental.

Me crié en una familia grande con dos abuelos italianos y otros dos argentinos, pero hijos de italianos, y con muchos tíos, tías, primos y pri-

mas. Mis padres, Orlando Salvador ("Cacho") Alfano y Carmela Gesualdo, nacieron y vivieron siempre en la ciudad de Santa Fe, capital de la Provincia de Santa Fe. Nacieron en abril de 1925 y en febrero de 1926, respectivamente, y se casaron en abril de 1949. Este es el lugar donde nací el 01 de marzo de 1950. Soy el mayor de tres hermanos, seguido por Emilia Dolores y Alberto Andrés.

Mi padre era dueño de lo que hoy se llamaría una "minipyme", con no más de cuatro empleados, que continuaba la actividad de mi abuelo paterno sobre la fabricación y reparación de camas de hierro. Con el tiempo, esta actividad se convirtió totalmente al empleo de la madera con el mismo fin. Mi madre era ama de casa y única hija mujer (segunda) de una familia grande con ocho hijos.

Mis abuelos paternos, Andrés Mario Alfano y María Emilia Tallarico, nacieron en Argentina, en marzo de 1899 y febrero de 1901, respectivamente. Ambos eran hijos de italianos, se radicaron en la ciudad de Santa Fe y se casaron en julio de 1924. Mis abuelos maternos, Nicola Gesualdo y Addolorata Schiraldi, eran italianos nacidos en Palombaio, una fracción del municipio de Bitonto (de unos 3000 habitantes) cerca de la ciudad de Bari, Italia. Nicola nació en julio de 1891 y Addolorata en julio de 1902. Mi abuela materna estaba casada y sin hijos cuando su primer esposo fue reclutado para la Primera Guerra Mundial y nunca regresó de la misma. Mi abuelo Nicola -que ya estaba viviendo en Argentina y la conocía- fue a buscarla, se casaron en Italia en julio de 1923 y después se radicaron en Santa Fe, Argentina. Tengo también la ciuda-

danía italiana por la rama materna de los Schiraldi.

En el año 2010 tuve la oportunidad de viajar a Italia y visitar la casa de mi abuela materna y algunos de mis parientes de esa rama familiar.

Hice la primaria en la Escuela N° 465 Dr. Wenceslao Escalante perteneciente a la educación pública estatal, ubicada frente a la Plaza Escalante en calle Martín Zapata 2849, en un barrio cerca de mi casa. Recuerdo que varias actividades de educación física se hacían en esta misma plaza. De pequeño era muy curioso y me la pasaba haciendo todo tipo de preguntas a mis padres; por ejemplo, el nombre de las letras y el modo de ordenarlas para formar las palabras. Con la ayuda de mi madre aprendí a leer y escribir antes de ingresar a la escuela primaria. En esa época la primaria era de siete años;

el primer año era Primero Inicial y el último año, el séptimo, era Sexto Grado. Al iniciar sexto grado, las autoridades me eligieron abanderado de la escuela.

De chico también me gustaba jugar al fútbol en mi barrio y “organizar” partidos con figuritas de los jugadores, dos arcos y un botón (la pelota). La influencia familiar me hizo partidario del Club Atlético Unión de Santa Fe, de la Primera B en esa época, tenía mi carnet de socio del club y mi padre me solía llevar a ver algunos partidos de fútbol cuando se jugaba de local.

La secundaria la hice en la Escuela Industrial Superior (EIS), dependiente de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y anexa a la Facultad de Ingeniería Química (FIQ). También formaba parte de la educación pública estatal, como

precursora de la educación técnica nacional. La EIS era una escuela con un excelente nivel; para el ingreso, tomaba un examen muy exigente para elegir los mejores alumnos entre un número bastante elevado de postulantes de las escuelas primarias de la región. Aprobé este examen con muy buen promedio e ingresé a la secundaria a los 13 años de edad. En esa época, a diferencia de la mayoría de las escuelas secundarias, el cursado era de siete años; años atrás, el plan de estudio se redujo de siete a seis años.

Después de un ciclo básico de cuatro años, en la EIS se podían elegir tres carreras de Técnico: Constructor, Mecánico Electricista y Químico. Para el cursado, la escuela contaba con aulas especiales para dibujo técnico, importantes talleres (carpintería, fundición, tecnología mecánica, etc.) y laboratorios para



Figura 1: Fotografía del autor en Palombaio, fracción del municipio de Bitonto, Bari, Italia, Junio de 2010.

las químicas. Sin dudar elegí química y, después de siete años, al final de 1969 me recibí de Técnico Químico.

■ 2. DE TÉCNICO A INGENIERO

Si bien mis padres no habían recibido una educación universitaria y sus ingresos económicos tenían ciertas limitaciones, entendieron y aceptaron mi decisión de ingresar a la Universidad pública. El comienzo de los estudios en la carrera de Ingeniería Química de la UNL al año siguiente fue un paso casi natural, ya que la EIS estaba ubicada en la misma manzana de la ciudad que la FIQ; hasta existía una comunicación interna entre ambos edificios. Además, y creo que fue lo más importante, la formación técnica recibida en la EIS ya me había generado un indudable interés por asignaturas tales como Matemática, Química y Física.

La formación técnica previa, aunque demandaba dos años más que lo normal en otras escuelas secundarias, me dejó avanzar sin mayores dificultades durante los primeros años de la Universidad. En ese período, pude destinar parte de mi tiempo como estudiante para iniciarme en la docencia universitaria. Esta actividad me permitió contar con ciertos recursos económicos para la vida de estudiante y, a la vez, terminar el cursado sin aplazos y con un buen promedio.

Al inicio de 1976 ya estaba en condiciones de rendir la última materia de ingeniería química (Proyecto Industrial), pero en esos meses se comenzaron a vivir momentos de gran incertidumbre en el país porque la Universidad había sido intervenida por los militares. Recién el 19 de abril de 1976 se constituyeron algunas mesas de exámenes y me pude recibir como Ingeniero Químico.

En diciembre de 1976 me casé con Silvia Canale, estudiante en esos años de la Facultad de Ciencias Económicas de la UNL, en 1978 nació nuestra primera hija Romina Andrea y en 1984 nuestra segunda hija Silvina María.

Después de recibido continué como docente de la FIQ-UNL y, entusiasmado por la buena experiencia de un ex-docente de la misma cátedra que se había ido a trabajar a la industria, sentí la curiosidad de incursionar en el sector privado. Mi buen promedio como estudiante me brindó la posibilidad de que un profesor de la facultad me recomendara para una primera entrevista con una empresa; así fue como en 1977 ingresé como ingeniero en una industria química de la Provincia de Buenos Aires.

No elegí la mejor época para mi experiencia en la industria. La situación del país no pasaba por un buen momento, la política económica aplicada en esos años produjo una reorganización de la empresa y mi breve “aventura” en el sector privado llegó a su fin a principios de 1978. En ese momento analicé la posibilidad de trabajar en otra empresa, pero pronto me di cuenta que estas actividades no concordaban con mi verdadera vocación e intereses. La buena educación técnica de la EIS y esta ingrata experiencia, motivaron mi futura dedicación a la investigación.

■ 3. INGRESO AL DOCTORADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

Un ex-compañero de estudios en la UNL y becario del CONICET en esa fecha, el Dr. Pedro Arce, me facilitó una primera entrevista con el director del INTEC, el Dr. Alberto Cassano.¹ Nuevamente, mi buen promedio en la carrera de Ingeniería

Química me favoreció y produjo una respuesta positiva de Cassano. En esos momentos, en el Instituto se vivía una situación muy particular porque estaba finalizando el proyecto sobre “Planta Modelo Experimental de Agua Pesada” y, con la firme decisión de Cassano, se iniciaba un plan para retomar lo antes posible las actividades de investigación. En ese sentido, tuve la suerte de formar parte del grupo inicial de becarios de esta nueva etapa del INTEC.

En 1978 ingresé al INTEC como Personal Contratado, para trabajar primeramente sobre “Modelado de Reactores de Lecho Móvil para la Gasificación del Carbón” bajo la supervisión del Dr. Luis Arri, quien había regresado al país después de obtener su PhD en EE.UU. con el prestigioso Profesor Neal Admanson. En esos años, trabajar con modelos computacionales implicaba “picar tarjetas” y luego correr los programas desde una terminal del centro de cómputos conectada a una inmensa computadora VAX11/780.

En el período 1979-1983, con el Dr. Arri y otro becario del Instituto, el colega y amigo Pedro Arce, realizamos varias comunicaciones a congresos y publicaciones sobre el modelado de reactores heterogéneos de lecho móvil aplicables a Reacciones Gas-Sólido No Catalíticas. En paralelo, comencé a tomar varios cursos de posgrado reconocidos oficialmente por la UNL.

Recién en abril de 1979 comencé a trabajar con una Beca Interna de Iniciación y luego con una Beca Interna de Perfeccionamiento, ambas del CONICET. El tema de las becas era “Modelado de Fotorreactores Aplicables a Reacciones en más de una Fase y a Cinéticas Complejas”. Mi Director de becas fue el Dr. Alberto Cassano.

En 1981 se iniciaron formalmente las actividades de la Comisión Especial de Posgrado en el ámbito de la FIQ-UNL. Debido a que algunos problemas familiares durante esos años me impedían realizar estancias prolongadas en el exterior, decidí iniciar el Doctorado en Ingeniería Química de la UNL y después realizar estancias breves en el exterior, como explicaré en otra sección.

Comencé el doctorado en el mismo tema de la beca con la dirección del Dr. Cassano. En relación al papel que jugó mi Director de Tesis, no voy a repetir aquí su conocida y trascendente obra como científico, docente y profesional. Como discípulo, mi opinión ya fue publicada en la Semblanza que escribí para la Reseñas de Cassano.² Sintetizo solamente mi opinión personal de la última cita:

“Cuando uno lo conoce a Alberto lo primero que se siente por él es respeto. Posteriormente, al leer su obra, se siente además reconocimiento. Finalmente, después de un tiempo de trabajar juntos, el sentimiento es de amistad”.

En los dos primeros años, el doctorado tenía una fuerte componente de formación a través de los cursos de posgrado, compuesta por doce cursos de formación básica y específica (Métodos Matemáticos, Fenómenos de Transporte, Termodinámica, Reactores, etc.) y tres cursos de formación complementaria (Economía, Filosofía de las Ciencias, etc.). Algunos de los cursos aprobados en el período anterior fueron reconocidos por la UNL como parte del doctorado. En Métodos Matemáticos, tuve la oportunidad de tomar

tres muy buenos cursos dictados por el Dr. Arri (antes de su regreso a EE.UU.) sobre Matrices, Ecuaciones Diferenciales Ordinarias y Ecuaciones Diferenciales Parciales. Y también de tomar un curso especial dictado en 1981 por el reconocido Profesor Stephen Whitaker sobre “*Multiphase Flow in Porous Media*”.

En síntesis, mi tesis doctoral consistió en el estudio teórico y experimental de un fotoreactor tanque agitado, operado en forma semicontinua, en el cual se realizaba la reacción de cloración de diferentes derivados clorados en fase líquida (sistema gas-líquido). Este reactor, construido totalmente por materiales especiales resistentes al cloro gaseoso, era irradiado desde su base por un sistema emisor compuesto por una fuente tubular de radiación UV ubi-



Figura 2: Fotografía de los alumnos del curso dictado por el Prof. Stephen Whitaker. De izquierda a derecha: Adriana Paredes, María Delia Giavedoni, Francisco Castiglioni, Jorge Galazzo, Orlando Alfano, Pedro Arce, Gustavo Dassori y Osvaldo Campanella (Santa Fe, 1981).

cada a lo largo del eje focal de un reflector cilíndrico de sección parabólica. La primera etapa consistió en la evaluación del campo de radiación en el interior del reactor aplicando diferentes modelos de emisión de la lámpara, mientras que la segunda etapa abarcó el estudio experimental de la reacción de cloración de tricloroetileno, tetracloroetileno y pentacloroetano, usando tetracloruro de carbono como solvente.

En febrero de 1984, antes de la defensa de tesis, ingresé a la carrera de Investigador del CONICET en la clase Asistente, bajo la dirección del Dr. Cassano. La defensa se realizó el 4 de julio de 1984, ante un jurado integrado por el Dr. Roberto Williams³ (prestigioso investigador de la Universidad Nacional de Mar del Plata) y el Dr. Horacio Irazoqui e Ing. Alberto Castro, como Profesores

de la UNL. Como comentaré más adelante, fui el primer Doctor en Ingeniería Química del país. Mi esposa estaba embarazada por segunda vez y, muy pocos días después de la defensa, nació nuestra hija Silvina.

Durante la realización de la tesis y en años siguientes, publiqué varios trabajos con mi director de tesis en temas vinculados al modelado de distintos tipos de fotorreactores y a la verificación experimental sobre reacciones de cloración de hidrocarburos. Entre ellos, los artículos publicados con mis primeras dos becarias como codirector, las Dras. Ana Tymoschuk y María Cabrera. También se publicaron tres artículos con el grupo de investigación de la Universidad de Barcelona (España) dirigido por el Prof. Santiago Esplugas, sobre un reactor tubular multilámpara diseñado para el tra-

tamiento continuo de agua y aguas residuales.

En julio de 1986, CONICET me ascendió a Investigador Adjunto sin Director. En paralelo con mis actividades de investigación, entre 1988 y 1993 participé en proyectos de transferencia (STAN del CONICET) con tres empresas químicas de Argentina.

Entre 1984 y 1995 continué trabajando simultáneamente sobre modelos de reactores de lecho móvil no-catalíticos, pero aplicados a la reducción directa de hematita para la producción de hierro esponja. En este caso, con el Dr. Mario Chiovetta como director y yo como codirector, de la tesis doctoral de Daniel Negrí. Durante este período, publiqué varios artículos sobre este tema en revistas reconocidas.



Figura 3: Fotografía tomada en ocasión de la entrega de diploma del Doctorado en Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral por el Dr. Alberto Cassano.

■ 4. LOS REACTORES HETEROGÉNEOS

No había quedado conforme con la última parte de mi tesis doctoral al ver las burbujas de gas cloro dispersas en el solvente de la reacción. Para el modelo del reactor tanque agitado de la tesis, había usado una correlación de la bibliografía válida para sistemas pseudo-homogéneos. Los conceptos desarrollados previamente por el grupo de investigación sobre diferentes modelos de emisión de lámparas UV, sin y con reflectores, eran muy útiles para calcular el flujo de radiación incidente sobre el reactor. Pero no eran suficientes cuando se abordaba el estudio de medios heterogéneos, en los cuales coexiste absorción y dispersión ("scattering") de radiación.

En el grupo no había experiencia sobre el tratamiento teórico de estos reactores. Por otra parte, ya existía la idea de abandonar las reacciones de cloración e iniciar las investigaciones sobre Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs) para descontaminación de aguas. En esos años, el diseño de reactores fotocatalíticos heterogéneos con partículas sólidas de dióxido de titanio (TiO_2) en suspensión, era un ejemplo desafiante y prometedor para la remediación ambiental. La bibliografía en el tema era escasa y, lo poco publicado, podía aplicarse solamente a geometrías muy simples, no representativas de las configuraciones más comunes de los fotorreactores. Tampoco existía una metodología integral para el análisis y diseño de estos reactores.

En estos sistemas, la Ecuación de Transferencia Radiativa (RTE, del inglés *Radiative Transfer Equation*) introducía dos términos relacionados con el scattering en el diseño de los fotorreactores: *in-scattering* y *out-scattering*. La RTE es una ecuación integro-diferencial que puede

resolverse utilizando algunos métodos numéricos desarrollados en la bibliografía sobre *Transport Theory*. Para los fotorreactores heterogéneos, era necesario utilizar métodos numéricos complejos para aplicarlos a geometrías cilíndricas y multidimensionales.

En este período se desarrollaron los métodos numéricos para sistemas heterogéneos y se publicaron los primeros trabajos del grupo sobre el campo de radiación en un medio unidimensional y con simetría azimutal. Con esta metodología se calculaba la Velocidad Volumétrica Local de Absorción de Fotones (LVRPA, por *Local Volumetric Rate of Photon Absorption*) como un "reactivo" más en la expresión cinética (Alfano y col., 1995). Sobre esta base se desarrolló un modelo cinético aplicado a la degradación fotocatalítica del tricloroetileno en agua (Alfano y col., 1997). Posteriormente, se analizaron los efectos de absorción y scattering para partículas sólidas en suspensión, utilizando el Método de la Ordenada Discreta para simular numéricamente el campo de radiación en un reactor anular con dos variables espaciales y dos variables angulares (direccionales).

Para resolver la RTE en reactores fotocatalíticos se necesitaban tres propiedades ópticas de las suspensiones de TiO_2 : el coeficiente de absorción, el coeficiente de dispersión y la función de fase (*phase function*). Para un reactor de lecho suspendido, se propuso un método experimental basado en las mediciones de reflectancia y transmitancia difusa (espectral) de las suspensiones en la celda, utilizando un espectrorradiómetro equipado con un accesorio de esfera integradora. Para calcular las tres propiedades ópticas, se aplicaba un programa de optimización no lineal para ajustar las predicciones del modelo a los datos experimentales.

La primera becaria del CONICET que dirigí en esta línea y en la tesis fue la Dra. María Lucila Satuf (2002). Se evaluaron las propiedades ópticas de tres marcas comerciales de TiO_2 : Aldrich, Degussa P25 y Hombikat UV 100 (Satuf y col., 2005). Este método experimental fue utilizado posteriormente por nuestro grupo y otros grupos de investigación del país y del exterior (explicado en otra Sección) para evaluar las propiedades ópticas de diferentes fotocatalizadores en suspensión y obtener valores representativos de la función de fase. Con el mismo método y equipamiento se han evaluado las propiedades ópticas de suspensiones con investigadores del Laboratorio de Remediación Ambiental del IIIA, CONICET-UNSAM, y del Centro de Investigación y Tecnología Química de la UTN, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC).

Estos primeros trabajos fueron utilizados como base de futuros trabajos para el análisis, diseño y optimización de diferentes tipos de reactores fotocatalíticos, irradiados con lámparas UV/Visible convencionales. Recientemente, se han diseñado y evaluado reactores con LEDs que emiten en el UV para la degradación de contaminantes orgánicos del agua y diferentes catalizadores de TiO_2 , puros o dopados.

■ 5. EL REACTOR SOLAR

En 1993 inicié una nueva línea de investigación sobre el proceso foto-Fenton para la descontaminación de aguas, utilizando radiación solar UV/Visible, peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y un complejo de hierro. Inicié trabajos en colaboración con el Dr. Rubén Piacentini, Investigador del Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR) y con el Ing. Enrique Albizzati, Profesor de la FIQ-UNL. Ambos profesores estaban trabajando sobre mediciones de radiación

solar UV/Visible en sus respectivas Instituciones.

El primer becario del CONICET que dirigí en este tema fue el Dr. Germán Rossetti. En los primeros trabajos se realizó el modelado y verificación experimental de un reactor solar de placa plana, sin concentración de radiación. El modelo matemático consideraba que la ventana de vidrio recibía radiación solar directa y difusa (isotrópica); las predicciones se compararon con los datos experimentales de una reacción simple, la foto-descomposición del actinómetro oxalato de uranilo. El principal objetivo fue verificar las predicciones del campo de radiación solar en el interior del reactor en función del ángulo cenital solar, con el reactor en posición horizontal o inclinado (Rossetti y col., 1998).

Para esta línea, los valores de radiación solar incidente sobre la ventana del reactor eran imprescindibles para desarrollar un modelo confiable del reactor, bajo diferentes condiciones de la atmósfera y del ángulo cenital. Se realizaron mediciones y predicciones de radiación UV para las ciudades de Santa Fe y Rosario (Albizzati y col., 1997; Piacentini y col., 2002), usando diferentes códigos de transferencia radiativa para días de cielo claro, en función del contenido de ozono y de aerosoles en la atmósfera y de la reflectividad del suelo local.

El paso siguiente fue estudiar la cinética de la reacción foto-Fenton, teniendo en cuenta que esta reacción es muy particular ya que se produce por dos vías simultáneas: oscura o térmica (Fenton) e irradiada o fotónica (foto-Fenton). Se presentó un modelo de la cinética y la verificación experimental de un reactor para evaluar las velocidades de descomposición del ácido fórmico (como sustrato modelo) y del H_2O_2 .

El trabajo experimental se realizó primero en un reactor de laboratorio y luego en un reactor solar. Para cada ángulo cenital solar, el modelo permitía calcular: (i) la radiación espectral solar directa y difusa incidente sobre la ventana del reactor, (ii) la velocidad espectral local de absorción de fotones en el interior del reactor y (iii) las concentraciones de ácido fórmico y H_2O_2 en función del tiempo (Rossetti y col., 2004). Para esta reacción, se verificó que la radiación UV solar “difusa” puede ser tan importante como la radiación UV solar “directa”.

La aplicación e integración posterior de estos conceptos, se utilizó para degradar un contaminante es-

pecífico del agua, el herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético). A partir de 2003, dirigí la tesis y las becas doctoral y posdoctoral de la Dra. Jorgelina Farías. A fines de 2009, registramos la patente de invención “Reactor Solar para Descontaminación de Aguas” utilizando el proceso foto-Fenton solar para descontaminación de aguas con 2,4-D. El concepto innovador de este reactor “híbrido” de planta piloto se basó en la captura en forma simultánea e integrada de la radiación térmica y fotoquímica del sol para degradar la materia orgánica de aguas residuales, tanto del sustrato principal como de los productos secundarios, también contaminantes (Farías y col., 2009).



Figura 4: Fotografía del reactor solar “híbrido” de planta piloto patentado.

Entre 2010 y 2016 dirigí la beca doctoral y la tesis del primer egresado del Doctorado en Ingeniería Mención Ambiental de la UNL, el Dr. Leandro Conte. En esta línea se publicaron varios trabajos usando diferentes complejos de hierro para trabajar a pHs neutros. También se completó la automatización y control del reactor solar patentado mediante la instalación de sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura y radiómetros para medir la radiación solar UV y total. En 2018, el Dr. Conte resultó ganador de una beca Marie Skłodowska-Curie, la que desarrolló en la Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, España.

■ 6. REACTORES PARA DESCONTAMINACIÓN DE AIRE

En 1998 comencé a trabajar en una línea nueva sobre reactores fotocatalíticos, pero con el objetivo específico de estudiar la descontaminación de aire. Inicié los trabajos con el diseño y construcción de un nuevo reactor con el TiO_2 inmovilizado sobre mallas de vidrio paralelas e irradiado bilateralmente, para evaluar la degradación de un contaminante orgánico presente en una corriente de aire. Se presentaron comunicaciones a congresos nacionales e internacionales sobre el modelado y verificación experimental del campo radiante y la cinética de degradación del contaminante tricloroetileno en aire.

Para estudiar la cinética de reacción de estos procesos y evaluar el efecto de la potencia de la fuente, era necesario modificar el flujo de radiación incidente sobre el reactor utilizando filtros neutros. Pero cuando el área de entrada de radiación es muy grande, estos filtros son muy costosos y fue necesario recurrir a un método casero y más económico. Estos filtros se prepararon mediante la impresión de láminas con diferentes números

de píxeles, cada filtro con una transmitancia preestablecida y determinada con un espectrofotómetro; de esta forma se pudo variar el flujo de radiación en niveles discretos. El aporte del Técnico Antonio Negro, Personal de Apoyo del CONICET, fue muy importante para resolver este problema práctico, para este caso y para otros dispositivos del grupo de investigación.

En 2002, en esta línea se incorporó un becario doctoral del CONICET, el Dr. Gustavo Imoberdorf, quien realizó la tesis doctoral bajo mi dirección y la codirección del Dr. Horacio Irazoqui. Se diseñó y construyó un reactor fotocatalítico multianular para la eliminación de percloroetileno de una corriente de aire contaminada. Se desarrolló y verificó experimentalmente un modelo riguroso del reactor con el fin de determinar la eficiencia energética total, considerando los siguientes factores parciales: eficiencia de incidencia de radiación, eficiencia de absorción de radiación del catalizador y eficiencia cuántica de la reacción química (Imoberdorf y col., 2007). En estos trabajos, se utilizó el concepto de Velocidad Superficial Local de Absorción de Fotones (LSR-PA del inglés) de la película fotocatalítica de TiO_2 depositada sobre las paredes de vidrio del reactor.

En una etapa posterior, con la dirección del Dr. Rodolfo Brandi y mi codirección, se desarrolló la tesis doctoral de otro becario del CONICET, el Dr. Claudio Passalía. Se completó un trabajo sobre el modelado y verificación experimental de un nuevo reactor fotocatalítico continuo, diseñado y construido con una placa corrugada de acero inoxidable recubierta con TiO_2 , para la eliminación del contaminante formaldehído en una corriente de aire. Para obtener los campos de velocidad y concentraciones internos del reactor, se comenzó a utilizar un software co-

mercial CFD (*Computational Fluid Dynamics*) (Passalía y col., 2011).

Comencé luego a trabajar con una aplicación diferente: la inactivación fotocatalítica de microorganismos presentes en el ambiente. Bajo mi dirección, en 2008 se incorporó una becaria doctoral para realizar la tesis, la Dra. Silvia M. Zacarías. Entre los primeros trabajos, se comparó el rendimiento de diferentes recubrimientos de TiO_2 para lograr la inactivación fotocatalítica de esporas de *Bacillus subtilis* sobre películas del catalizador, usando radiación UV-A (Zacarías y col., 2012). Los experimentos se llevaron a cabo en una cámara construida con un sistema emisor de radiación UV con lámparas fluorescentes de luz negra, un compartimento de irradiación y un soporte para sostener las placas de vidrio recubiertas con el catalizador y las muestras de esporas.

En esta misma línea, se realizaron trabajos conjuntos con investigadores del Instituto de Lactología Industrial (INLAIN, UNL-CONICET) con el fin de evaluar la eficiencia de inactivación fotocatalítica de bacteriófagos de la industria láctea. Se completó el diseño y construcción de un reactor a escala semi-piloto para estudiar la inactivación de fagos perjudiciales en este tipo de industrias (Briggiler y col., 2018). Finalmente, esta línea se extendió y consolidó con el regreso de la Dra. María M. Ballari, de quien fui su codirector de tesis y beca entre 2003 y 2008. La Dra. Ballari realizó su estancia posdoctoral en la *Eindhoven University of Technology* (Países Bajos) sobre la aplicación de materiales de construcción para descontaminación de aire utilizando procesos fotocatalíticos con TiO_2 (Salvadores y col., 2020).

El 01 de junio de 2013 fui promovido a Investigador Superior del CONICET.

■ 7. COLABORACIONES CON EL EXTERIOR

He favorecido la interacción con distintos grupos de investigación del exterior mediante la participación en proyectos de colaboración con Universidades extranjeras, la realización de estancias o visitas a instituciones científicas y el dictado de cursos de mi especialidad. También he supervisado varias estancias doctorales o posdoctorales de becarios extranjeros en INTEC.

Entre las primeras estancias, en mayo de 2000 participé en el proyecto CAPES-Fundación Antorchas con el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Federal de Pernambuco (UFP), Recife, Brasil, sobre *Modelagem e Verificação Experimental de um Equipamento para Tratamento de Águas Residuais Através de Radiação Ultravioleta e Ozônio*. Supervisé la estancia en Argentina y fui codirector de tesis de Magíster en Ingeniería Química de un becario de la UFP en este tema y participé en el diseño de un nuevo reactor UV/Ozono instalado en INTEC. Este tema es continuado actualmente por otros investigadores del grupo.

Durante los años 2000-2002, participé en el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), mediante reuniones realizadas en Morelos (México), Campinas (Brasil) y Sevilla (España). Contribuí como coautor de un capítulo del libro "Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea", Red CYTED VIII-G, M.A. Blesa (ed.), Capítulo 10 (2001). Este programa generó excelentes oportunidades de vinculación y trabajo conjunto con científicos iberoamericanos. Hoy conservo la amistad personal o a la distancia con varios integrantes de este extraordinario grupo.

En el período 2004-2014 realicé varias estancias cortas en el Depar-

tamento de Tecnología Química, Ambiental y de los Materiales de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC), España. Entre 2004 y 2007 participé en el Proyecto de Cooperación Internacional (C/2876/05) de la Agencia Española de Cooperación Internacional entre la URJC y la UNL. Desde 2008 al 2010 participé en el Proyecto de Cooperación Internacional (PCI2006-A7-0526) del Ministerio de Educación y Ciencias de España: "Diseño de Reactores Solares para la Depuración y Potabilización de Aguas" entre ambas Universidades. Y en el período 2012-2014, participé como profesor invitado en el Proyecto BIOPHOREM "Procesos de Bioxidación Avanzada y Fotocatalíticos para la Eliminación de Contaminantes Emergentes" del Ministerio de Ciencia e Innovación. En este proyecto, participaron: URJC, Universidad de Santiago de Compostela y CIEMAT-Plataforma Solar de Almería.

Como resultado de mi cooperación en estos proyectos, se completaron varios trabajos sobre reactores fotocatalíticos para la descontami-

nación química y la inactivación de microorganismos del agua. Un primer grupo de artículos se centró en el modelado cinético de la oxidación fotocatalítica de cianuro en reactores de lecho suspendido, usando un mecanismo de reacción que incluía en forma explícita la LVRPA en la expresión cinética. Un segundo grupo se concentró en la inactivación fotocatalítica de bacterias y posterior validación experimental, para diferentes concentraciones de TiO_2 , potencias de irradiación y concentraciones iniciales de bacterias. En estos artículos se evaluaron los inevitables perfiles de LVRPA en el interior del reactor, lo que permitió determinar la dependencia de la velocidad de reacción con la intensidad de irradiación; desde valores próximos a 0,5 cerca de la superficie irradiada hasta 1,0 en las regiones más oscuras (Marugán y col., 2011).

Junto con los Drs. Rafael Van Grieken y Javier Marugán de la URJC, publicamos dos capítulos de libros sobre fundamentos del transporte de radiación en medios con



Figura 5: Fotografía tomada con el grupo de investigación de la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España. De izquierda a derecha: Javier Marugán, Orlando Alfano, María José López y Rafael van Grieken (SPEA4, Las Palmas de Gran Canaria, España, 2006).

absorción y dispersión (Alfano y col., 2016) y diseño de reactores fotocatalíticos (Marugán y col., 2016).

Las estancias en el exterior con estos proyectos me permitieron participar en congresos europeos sobre el tema, con el consiguiente ahorro de fondos siempre escasos para viajes; por ejemplo, en los congresos europeos SPEA (*European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications*) realizados en años pares durante el período 2004-2018. Fui invitado especialmente a dictar una de las cuatro conferencias plenarias del SPEA5 (Palermo, 2008).

En 2011 inicié trabajos de colaboración con el Centro de Ingeniería de Procesos y Medio Ambiente (CEPIMA), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona, España, sobre el diseño y operación del proceso foto-Fenton para la degradación de contaminantes emergentes del agua. Junto con la Dra. Montserrat Pérez-Moya y el Dr. Moisés Graells de la UPC, presentamos comunicaciones a congresos internacionales sobre el efecto de la dosis de H_2O_2 como parámetro clave para la mejora del proceso foto-Fenton. También participé en el diseño de un nuevo reactor anular de planta piloto, instalado posteriormente en un laboratorio de la UPC.

Entre 2015 y 2017, una estudiante de doctorado de la UPC realizó dos estancias doctorales bajo mi supervisión en INTEC. Luego publicamos un trabajo conjunto usando este reactor de planta piloto y propusimos un modelo cinético para analizar la degradación por foto-Fenton de un contaminante emergente del agua, el fármaco paracetamol, y del consumo de H_2O_2 (Audino col, 2019). En una etapa posterior, se utilizó la simulación CFD para mejorar el rendimiento del proceso y minimizar el

consumo de reactivos y energía para reactores de mayor escala. En este caso, además del grupo de la UPC, participó el Centro de Investigación de Métodos Computacionales (CI-MEC, CONICET-UNL) de Argentina. Las simulaciones CFD se realizaron con un software de código abierto OpenFOAM(R), al cual se incorporó un modelo de emisión de la lámpara UV sobre la estructura del software y un modelo de reacción multicomponente para calcular la evolución temporal de las especies en cada punto del reactor (Venier y col., 2021).

En octubre de 2013 participé en la coordinación de actividades de investigación conjunta entre el INTEC y el grupo de investigación "Sistemas Avanzados en Catálisis Heterogénea" del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC, España. Como resultado de esta colaboración, se publicó unos de mis trabajos más citados (Muñoz-Batista y col., 2019).

Además de las colaboraciones mencionadas, realicé visitas a uni-

versidades extranjeras para dictar conferencias y cursos cortos. En forma sintética, voy a citar las más importantes:

- En abril de 2001 fui invitado a dictar parte del curso de posgrado ECH 5226 *Advanced Reactor Design*, sobre *Photoreactor Modeling: Fundamentals and Applications*, en el *Department of Chemical Engineering, Florida A&M and Florida State Universities*, Tallahassee, EE.UU.
- En enero de 2008 fui invitado a dictar un curso sobre "Modelado de Fotorreactores. Aplicación a Procesos Avanzados para la Reducción de Contaminación Ambiental" en el Departamento de Ingeniería Química del Instituto Tecnológico de Celaya, México, en el marco del "XXV Seminario de Ingeniería Química".
- En junio de 2010 visité el *Istituto di Ricerca sulle Acque*, IRSA-CNR, Bari, Italia, y dicté un seminario sobre *Scaling-up*



Figura 6: Fotografía tomada en un intervalo del congreso IV EPOA. De Izquierda a derecha: Héctor Mansilla, Montserrat Pérez-Moya y Orlando Alfano (San Pablo, Brasil, 2007).

of Slurry Reactors for the Photocatalytic Degradation of an Organic Pollutant.

- En octubre de 2011, dicté el curso *AOPs for Environmental Remediation. Photoreactor Modelling and Experimental Verification* en la UPC, como parte del curso “Simulación y Optimización de Procesos” del plan de estudios del Máster de Investigación en Ingeniería de Procesos Químicos.
- En la misma fecha visité la Plataforma Solar de Almería, España, y dicté la conferencia “Evaluación de Absorción de Radiación en Fotorreactores”. Con investigadores del grupo de investigación de Almería publicamos un artículo sobre el proceso foto-Fenton para pHs neutros.
- En junio de 2012 visité el *Laboratoire de Chimie-Physique, Université Paris-Sud*, Francia, donde dicté la conferencia *Modelling and Experimental Verification of a Slurry Photocatalytic Reactor for Water Treatment*.
- En mayo de 2022, visité la Universidad Complutense de Madrid (UCM), Facultad de Ciencias Químicas, INPROQUIMA, y dicté la conferencia *Photoreactor Modelling: Application to Advanced Oxidation Processes for Environmental Remediation*.

■ 8. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN INGENIERÍA

Como comenté antes, durante el período como estudiante universitario destiné parte del tiempo para iniciarme, a partir del tercer año, en la docencia de grado en la FIQ-UNL. Entre 1972 y 1977 me desempeñé como docente de la FIQ; a medida

que avanzaba en la carrera, fui progresando gradualmente en el cargo y la dedicación: Ayudante de 2da categoría, Ayudante de 1ra categoría y finalmente Jefe de Trabajos Prácticos. Durante este período, me desempeñé en las cátedras de Química General, Química Inorgánica, e Introducción a la Ingeniería Química (a cargo de la cátedra).

Esta actividad la retomé entre 1981 y 1985 como Ayudante de 1ra de la UNL en INTEC (“Finalidad Ciencia y Técnica”). En el período 1986-2021 me desempeñé como Profesor Adjunto, Profesor Asociado Ordinario y finalmente Profesor Titular Ordinario dedicación exclusiva en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la UNL. En las carreras de grado, dicté “Procesos Físicoquímicos en Ingeniería Ambiental” de la carrera Ingeniería Ambiental, a cargo de la cátedra hasta el 2020.

En relación a la docencia de posgrado, me desempeñé como profesor en los doctorados para las dos Facultades, FIQ y FICH, dictando: Transferencia de Energía (1985-1991), Análisis de Reacciones y Reactores (1990-2016) y Procesos de Descontaminación de Aire y Agua (2011-2021).

También me he desempeñado en la formación de recursos humanos, mediante la dirección o codirección de tesis de estudiantes del Doctorado en Ingeniería Química y del Doctorado en Tecnología Química de la FIQ, y del Doctorado en Ingeniería Mención Ambiental de la FICH. Entre 1986 y 2018 he dirigido o codirigido 17 tesis de los dos Doctorados en Ingeniería de la UNL.

■ 9. DISTINCIONES Y PREMIOS

A lo largo de mi carrera científica, he tenido el honor de recibir algunas distinciones y premios. Si bien

estos logros los recibe generalmente un solo investigador, tengo claro que esos resultados nunca son individuales ya que la tarea de investigación no es personal sino de todo un equipo de trabajo. Es más, en mi *Curriculum Vitae* no tengo una sola publicación como único autor, siempre he trabajado como parte de un equipo integrado por investigadores, becarios y miembros del personal de apoyo.

Por mis aportes al tema he sido invitado a escribir varios artículos en publicaciones internacionales de alto impacto y capítulos de libro de reconocidas editoriales. Entre las distinciones y premios más importantes, puedo citar:

- Número especial en la revista *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, Volume 20, Issue 1, “Special Issue: In Honour of Dr. Orlando M. Alfano (2022)”, por las contribuciones a la investigación sobre Reactores Fotocatalíticos y Foto-Fenton. *Guest Editors*: María de los Milagros Ballari and Benito Serrano Rosales. Editorial De Gruyter. <https://www.degruyter.com/journal/key/ijcre/20/1/html>.
- INNOVAR 2010. Ganador de un premio del Concurso Nacional de Innovaciones del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, categoría Concepto Innovador, con el proyecto “Reactor Solar para Descontaminar Agua”, J. Farías, E.D. Albizzati, O.M. Alfano. Res. N° 905/10, 17/12/2010, Buenos Aires, Argentina.
- Primer Doctor en Ingeniería Química graduado en la Argentina. Como he mencionado previamente, en Julio de 1984 fui el primer egresado de esta

carrera de posgrado. Más que una distinción personal, este acto académico fue un logro institucional que permitió concretar una propuesta realizada por el Dr. Cassano en 1968 e impulsada junto con un grupo de investigadores del Departamento de Graduados de la FIQ. Con los años, esta carrera se fue consolidando y 20 años después ya existía un total de 97 graduados, sumando el Doctorado en Ingeniería Química (79) y el Doctorado en Tecnología Química (18). En el año 2024, se cumplieron los 40 años de los primeros graduados de esta carrera.

■ 10. PARTICIPACIÓN EN ACTIVIDADES DE GESTIÓN

He participado en actividades de gestión y asesoramiento en distintas comisiones de la UNL, el CONICET, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Provincia de Santa Fe. Voy a citar las actividades vinculadas con las carreras de grado en las Ingenierías y, en particular, con los Doctorados en Ingeniería de la UNL.

Entre 1990 y 1997 tuve la responsabilidad de ejercer como Coordinador de Posgrado de la FIQ de la UNL. Por la iniciativa y aportes del INTEC a la creación del Doctorado en Ingeniería Química, en esa época la FIQ designaba un coordinador de nuestro Instituto, además de los representantes de las distintas disciplinas que integraban la Comisión Especial de Posgrado, tales como Ingeniería Química, Tecnología Química, Química, Alimentos y Matemática. En esos años no existía un Secretario de Posgrado en la Facultad, por lo que esta tarea implicaba un trabajo importante de coordina-

ción entre las distintas carreras de doctorado y maestría.

A fines de 1997, junto a otros investigadores de la FICH, FIQ e INTEC, participé en el grupo de profesores que propuso la creación

de la carrera de grado "Ingeniería Ambiental". En 1998 participé en el taller de desarrollo curricular, integrado por un panel internacional de expertos en Ingeniería Ambiental, cuatro de EE.UU. y uno de Australia, para debatir y ofrecer asesora-

Se graduó el primer doctor en ingeniería química



Dr. Orlando Mario Alfano

Acaba de graduarse en nuestra ciudad, el primer doctor en ingeniería química del país, en el cuarto nivel educacional o de posgrado de la Universidad Nacional del Litoral. Se trata del Sr. Orlando Mario Alfano quien el 19 de abril de 1976 había obtenido el título de ingeniero químico en la Facultad de Ingeniería Química (UNL) para iniciar el 9 de marzo de 1981 sus estudios de posgrado a través de los cursos organizados por la Comisión Especial de Posgrado de la antedicha universidad y finalmente, realizar su tesis sobre "Modelado de fotorreacciones aplicado a sistemas de más de una fase y cinéticas complejas", siendo el director de la tesis el Dr. Alberto E. Cassano.

Así como queda mencionado que el Dr. Alfano es el primer doctor en ingeniería química del país, es interesante recordar que el 31 de agosto de 1926 se graduaba en la entonces Facultad de Química Industrial y Agrícola (hoy FIQ), creada en 1919 y que había comenzado a funcionar el 1° de julio de 1920, el primer ingeniero químico del país y de América del Sur, el Ing. Gregorio Kleer, ya fallecido. Es decir que han transcurrido poco menos de 58 años entre ambos hechos li-

gados a esta profesión que nació en aquel entonces en nuestra ciudad.

Examen de tesis

Por razones de fuerza mayor que son de público conocimiento cual fue el conflicto del personal no docente, el examen de tesis del Dr. Alfano no se realizó en la Facultad de Ingeniería Química, sede de la Comisión Especial de Posgrado de la Universidad Nacional del Litoral, sino en el Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), organismo que también integra aquella comisión.

Ante una concurrencia integrada por docentes e investigadores de la UNL y del CONICET, como así también profesionales que cursan su posgrado, el Dr. Alfano hizo la defensa de su tesis ante el jurado integrado por el Dr. Horacio Antonio Irazoqui, Ing. Alberto Antonio Castro y el Dr. Roberto Williams (de la Universidad Nacional de Mar del Plata) y el director de la tesis, Dr. Alberto Enrique Cassano.

Previamente habló el decano normalizador de la FIQ, Ing. Osvaldo Benigni, en su condición de presidente de la Comisión de Posgrado quien destacó la importancia y trascendencia del hecho de llegar a la graduación del primer doctor en ingeniería química como hecho académico y como concreción de un proyecto planeado hace 16 años, haciendo notar que así como hay sueños que nunca se concretan o que se logran hacer realidad en poco tiempo, éste del posgrado demandó tiempo pero finalmente se alcanzó a concretar en ese momento.

El Dr. Orlando Mario Alfano es oriundo de esta ciudad, donde nació el 1° de marzo de 1950 y actualmente es investigador del CONICET, y docente de la UNL, desempeñándose en el INTEC.

Inició un programa en radiofonía el Centro Comercial

El Centro Comercial de Santa Fe inició la difusión de un programa radiofónico los sábados en el horario de 7.30 a 8, por la onda de LT 10 Radio Universidad, en cuyo transcurso será difundida la acción que desarrolla la entidad, así como de las distintas cámaras que la integran. Además, en fecha próxima, según lo ha comunicado, iniciará la tradición de un programa similar en LT 9 Radio Brigadier López.

La SADE convoca al concurso de Poesía "Joven '84"

La Sociedad Argentina de Escritores - filial Santa Fe -, convoca al concurso Poesía Joven '84. Podrán participar del mismo todos aquellos jóvenes residentes en la provincia que tengan 25 años cumplidos como máximo, pudiendo enviar dos poemas de tema libre con un máximo de sesenta versos cada uno.

El jurado estará compuesto por tres miembros, designados oportunamente por SADE filial Santa Fe, y se expedirán antes del 30 de setiembre del año en curso.

Las bases del concurso y toda otra información podrán recabarse a Certamen de Poesía Joven '84, C.C. 250 (3000) Santa Fe, o la sede de la Subsecretaría de Cultura, sito en 4 de Enero 1510, Santa Fe.

Figura 7: Fotografía de la nota publicada por el diario El Litoral de Santa Fe, 10 de julio de 1984.

miento sobre el diseño y puesta en marcha de la carrera (FOMECE Project 826/97, directores: Ing. Theiler y Dr. Isla). Después integré el Comité Académico de esta carrera, la Comisión para la Acreditación ante la CONEAU y las modificaciones del plan para adecuarlo al Consejo Federal de Decanos de Ingeniería.

En abril de 2005, como parte de las actividades internas de gestión del Instituto, fui propuesto como "Coordinador del Grupo de Fotorreacciones y Fotorreactores del INTEC", integrado inicialmente por 27 miembros entre investigadores, becarios y personal de apoyo. A partir de esa fecha, asumí el compromiso de coordinar las principales actividades del grupo, el que fue creciendo y diversificando los temas de investigación sobre Ingeniería Ambiental del INTEC. Con el fin de incorporar estas nuevas tecnologías, en 2014 propuse modificar el nombre anterior por "Ingeniería de Fotorreactores y Tecnologías Ambientales" y organizar e integrar las diferentes líneas del grupo (<https://intec.conicet.gov.ar/investigacion/ingenieria-ambiental/ingenieria-ambiental-descripcion/>).

Con el transcurso del tiempo y la ampliación a los temas ambientales, fue necesaria la renovación y modernización del equipamiento obsoleto de los laboratorios del grupo. Presenté y dirigí como Investigador Responsable el Proyecto de Modernización de Equipamiento "Procesos Avanzados de Oxidación y Biológicos Combinados para la Reducción de la Contaminación Ambiental" (PME 2006). En este proyecto participaron las siguientes instituciones: INTEC, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Instituto Nacional de Limnología y UTN-FRC. Para nuestro grupo de investigación, este PME permitió actualizar e incorporar el equipamiento siguiente: Analizador de Carbono Orgánico Total, Sistema de Cromatografía Líquida (HPLC), Espectrofotómetro de doble haz UV-Visible y Cromatógrafo de gases con detectores FID y ECD. Posteriormente, con proyectos presentados y aprobados por la ANP-CyT, se adquirieron otros dos nuevos equipos de gran utilidad en el laboratorio para los ensayos sobre tecnologías ambientales: (i) Simulador Solar, indispensable para estudiar la cinética de reacciones solares bajo condiciones controladas de irradiación y temperatura, y (ii) Equipo de

Ensayos Biológicos de Toxicidad, basado en las propiedades de la bacteria bioluminiscente *Vibrio fischeri*. El simulador solar se comenzó a utilizar en reemplazo de las lámparas de radiación convencionales para estudiar los procesos fotocatalíticos y foto-Fenton, debido a que ambas reacciones pueden ser iniciadas con radiación solar UV/Visible. Por otro lado, el equipo para analizar la toxicidad de muestras de agua es esencial para evaluar los resultados de los procesos de descontaminación en función del tiempo y compararlos con resultados de toxicidad estandarizados a nivel internacional.

En el período mayo 2006-enero 2018, actué como Editor Temático en Ingeniería Química de la revista *Latin American Applied Research* (LAAR), editada en Bahía Blanca, Argentina.

En 2010, junto con profesores de la FICH y el INTEC, participé en la comisión de creación del "Doctorado en Ingeniería Mención Ambiental" de la UNL. A partir de la creación de este doctorado, participé como miembro del Comité Acadé-



Figura 8: Fotografía del grupo de investigación tomada con motivo de la visita al INTEC de los Profesores Esther Oliveros y André Braun. De izquierda a derecha: Gabriela Henning, integrantes del grupo de investigación, Esther Oliveros y André Braun (Santa Fe, 2018).

mico. Posteriormente, en el período diciembre 2019-marzo 2022, me desempeñé como Director del Doctorado en Ingeniería de la UNL.

En octubre 2018 me incorporé como miembro de la “*International PhD School on Advanced Oxidation Processes (IPS-AOP)*” coordinada por el Prof. Luigi Rizzo (University of Salerno, Italy), en representación de la FICH-UNL.

■ 11. DESPUÉS DE MI JUBILACIÓN

Me jubilé del CONICET el 01 de noviembre de 2017 a los 67 años y, a partir de esa fecha, continúo como Investigador Superior Ad-Honorem. En la UNL mis actividades como Profesor Titular se extendieron hasta abril de 2022, debido a que en los dos últimos años me desempeñé como miembro Titular del Consejo Directivo de la FICH, después de ocho años seguidos en esa función. Hasta mi último año en la Universidad, continué dictando clases en

la carrera de Ingeniería Ambiental y en el Doctorado en Ingeniería Mención Ambiental. Durante el período comprendido entre mi jubilación y la fecha, me propuse ir reduciendo y transfiriendo gradualmente las responsabilidades y direcciones de becarios e investigadores jóvenes del grupo, con el fin de permitir su crecimiento y consolidación.

Una breve reflexión final sobre los Procesos Avanzados de Oxidación para la reducción de la contaminación ambiental y, en particular, sobre la ingeniería de reactores fotocatalíticos y foto-Fenton. Para el estudio de estos reactores, es muy importante el desarrollo de un modelo cinético “intrínseco” basado en un mecanismo de reacción que considere en forma explícita la velocidad local de absorción de radiación, volumétrica (LVRPA) o superficial (LSRPA), de acuerdo al tipo de reactor. La incorporación de esta variable de radiación permite obtener parámetros cinéticos independientes de la geometría, fuente de radiación y

tamaño del reactor. A partir de este modelo cinético, es posible llevar a cabo el análisis, diseño y optimización del reactor a escala laboratorio y el cambio de escala del proceso.

Finalmente, quiero agradecer al Dr. Miguel Blesa y al colegiado directivo de la AAPC por la distinción y honor de esta invitación a *Reseñas*. Un reconocimiento enorme a todas las instituciones públicas que contribuyeron a mi formación y apoyaron mis actividades académicas: CONICET, UNL, ANPCyT, FIQ, FICH y Provincia de Santa Fe. Agradezco también la colaboración de todos los integrantes del INTEC y, en particular, de investigadores, personal de apoyo y becarios del grupo de investigación “Ingeniería de Fotorreactores y Tecnologías Ambientales”. Por último, un agradecimiento muy especial para mi esposa, mis dos hijas y yernos y mis queridos nietos, quienes siempre me brindaron todo su cariño y apoyo aún en los momentos más difíciles de mi carrera.



Figura 9: Fotografía junto a mi esposa, mis hijas y mis nietos (Santa Fe, 2024).

■ BIBLIOGRAFÍA

- Albizzati, E.D.; Rossetti, G.H.; Alfano, O.M. (1997) "Measurements and Predictions of Solar Radiation Incident on Horizontal Surfaces at Santa Fe, Argentina (31° 39' S, 60° 43' W)", *Renewable Energy*, 11(4), 469-478.
- Alfano, O.M.; Cabrera, M.I.; Cassano, A.E. (1997) "Photocatalytic Reactions Involving Hydroxyl Radical Attack I: Reaction Kinetics Formulation with Explicit Photon Absorption Effects", *J. Catal.*, 172(2), 370-379.
- Alfano, O.M.; Cassano, A.E.; Marugán, J.; van Grieken, R. (2016) "Fundamentals of Radiation Transport in Absorbing Scattering Media", en *Photocatalysis: Fundamentals and Perspectives*, RSC Energy and Environment Series No. 14, Edited by J. Schneider, D. Bahnemann, J. Ye, G. Li Puma, D.D. Dionysiou. *The Royal Society of Chemistry* 2016, Chapter 14, 351-366, ISBN: 978-1-78262-041-9.
- Alfano, O.M.; Negro, A.C.; Cabrera, M.I.; Cassano, A.E. (1995) "Scattering Effects Produced by Inert Particles in Photochemical Reactors. 1. Model and Experimental Verification", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34(2), 488-499.
- Audino, F.; Conte, L.O.; Schenone, A.V.; Pérez-Moya, M.; Graells, M.; Alfano, O.M. (2019) "A Kinetic Study for the Fenton and photo-Fenton Paracetamol Degradation in an Annular Photoreactor", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26: 4312-4323.
- Briggiler Marcó, M.; Negro, A.C.; Alfano, O.M.; Quiberoni, A.L. (2018). "New semi-pilot scale reactor to study the photocatalytic inactivation of phages contained in aerosol", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25, 21385-21392.
- Farías, J.; Rossetti, G.H.; Albizzati, E.D.; Alfano, O.M. (2009) "Reactor Solar para Descontaminación de Aguas", Patente de invención, Instituto Nacional de la Propiedad Industrial, Argentina: INPI P-080103697. Concedida 14/02/2014.
- Imoberdorf, G.E.; Cassano, A.E.; Irazoqui, H.A.; Alfano, O.M. (2007) "Simulation of a Multi-annular Photocatalytic Reactor for Degradation of Perchloroethylene in Air. Parametric Analysis of Radiative Energy Efficiencies", *Chem. Eng. Science*, 64, 1138-1154.
- Marugán, J.; van Grieken, R.; Cassano, A.E.; Alfano, O.M. (2016) "Photocatalytic Reactor Design", en *Photocatalysis: Fundamentals and Perspectives*, RSC Energy and Environment Series No. 14, Edited by J. Schneider, D. Bahnemann, J. Ye, G. Li Puma, D.D. Dionysiou. *The Royal Society of Chemistry* 2016, Chapter 15, 367-387, ISBN: 978-1-78262-041-9.
- Marugán, J.; van Grieken, R.; Pablos, C.; Satuf, M.L.; Cassano, A.E.; Alfano, O.M. (2011) "Rigorous Kinetic Modelling with Explicit Radiation Absorption Effects of the Photocatalytic Inactivation of Bacteria in Water using Suspended Titanium Dioxide", *Applied Catalysis B: Environmental*, 102, 404-416.
- Muñoz-Batista, M.J.; Ballari, M.M.; Kubacka, A.; Alfano, O.M.; Fernández-García, M. (2019) "Braiding Kinetics and Spectroscopy in Photo-Catalysis: the Spectro-Kinetic Approach", Review Article, *Chem. Soc. Rev.*, 48, 637-682.
- Passalía, C.; Alfano, O.M.; Brandi, R.J. (2011) "Modeling and Experimental Verification of a Corrugated Plate Photocatalytic Reactor Using CFD", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50(15), 9077-9086.
- Piacentini, R.D.; Alfano, O.M.; Albizzati, E.D.; Luccini, E.A.; Herman, J.R. (2002) "Solar Ultraviolet Irradiance for Clear Sky Days Incident at Rosario, Argentina. Measurements and Model Calculations", *J. of Geophysical Research - Atmospheres*, 107, D15, 6.1-6.7.
- Rossetti, G.H.; Albizzati, E.D.; Alfano, O.M. (1998) "Modeling and Experimental Verification of a Flat-Plate Solar Photoreactor", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 37(9), 3592-3601.
- Rossetti, G.H.; Albizzati, E.D.; Alfano, O.M. (2004) "Modeling of a Flat-Plate Solar Reactor. Degradation of Formic Acid by the Photo-Fenton Reaction", *Solar Energy*, 77, 461-470.
- Salvadores, F. Alfano, O.M.; Ballari, M.M. (2020) "Kinetic study of air treatment by photocatalytic paints under indoor radiation source: Influence of ambient conditions and photocatalyst content", *Applied Catalysis B: Environmental*, 268, 118694.
- Satuf, M.L.; Brandi, R.J.; Cassano, A.E.; Alfano, O.M. (2005) "Experimental Method to Evaluate the Optical Properties of Aqueous Titanium Dioxide Suspensions", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44(17), 6643-6649.

Venier, C.M.; Conte, L.O.; Pérez-Moya, M.; Graells, M.; Nigro, N.M.; Alfano, O.M. (2021) "A CFD study of an annular pilot plant reactor for Paracetamol photo-Fenton degradation", *Chem. Eng. J.*, 410 128246.

Zacarías, S.M.; Satuf, M.L.; Vaccari, M.C.; Alfano, O.M. (2012) "Efficiency evaluation of different

TiO₂ coatings on the photocatalytic inactivation of airborne bacterial spores", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51, 13599-13608.

■ NOTAS

1 Ver la Reseña del Dr. Alberto Cassano en <https://aargentinapciencias.org/>

[publicaciones/revista-resenas/resenas-tomo-1-no-1-2013/](https://aargentinapciencias.org/publicaciones/revista-resenas/resenas-tomo-1-no-1-2013/). [NdE]

2 Ver <https://aargentinapciencias.org/publicaciones/revista-resenas/resenas-tomo-1-no-1-2013/>.

3 Ver Reseña del Dr. Roberto Williams en <https://aargentinapciencias.org/publicaciones/revista-resenas/resenas-tomo-3-no-3-2015/>.