

# Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina

## Tomo V



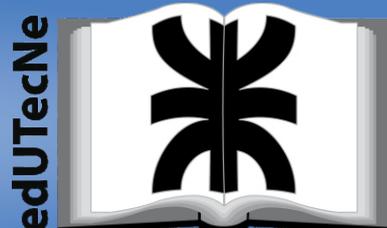
Grupo de Estudios  
de Medio Ambiente

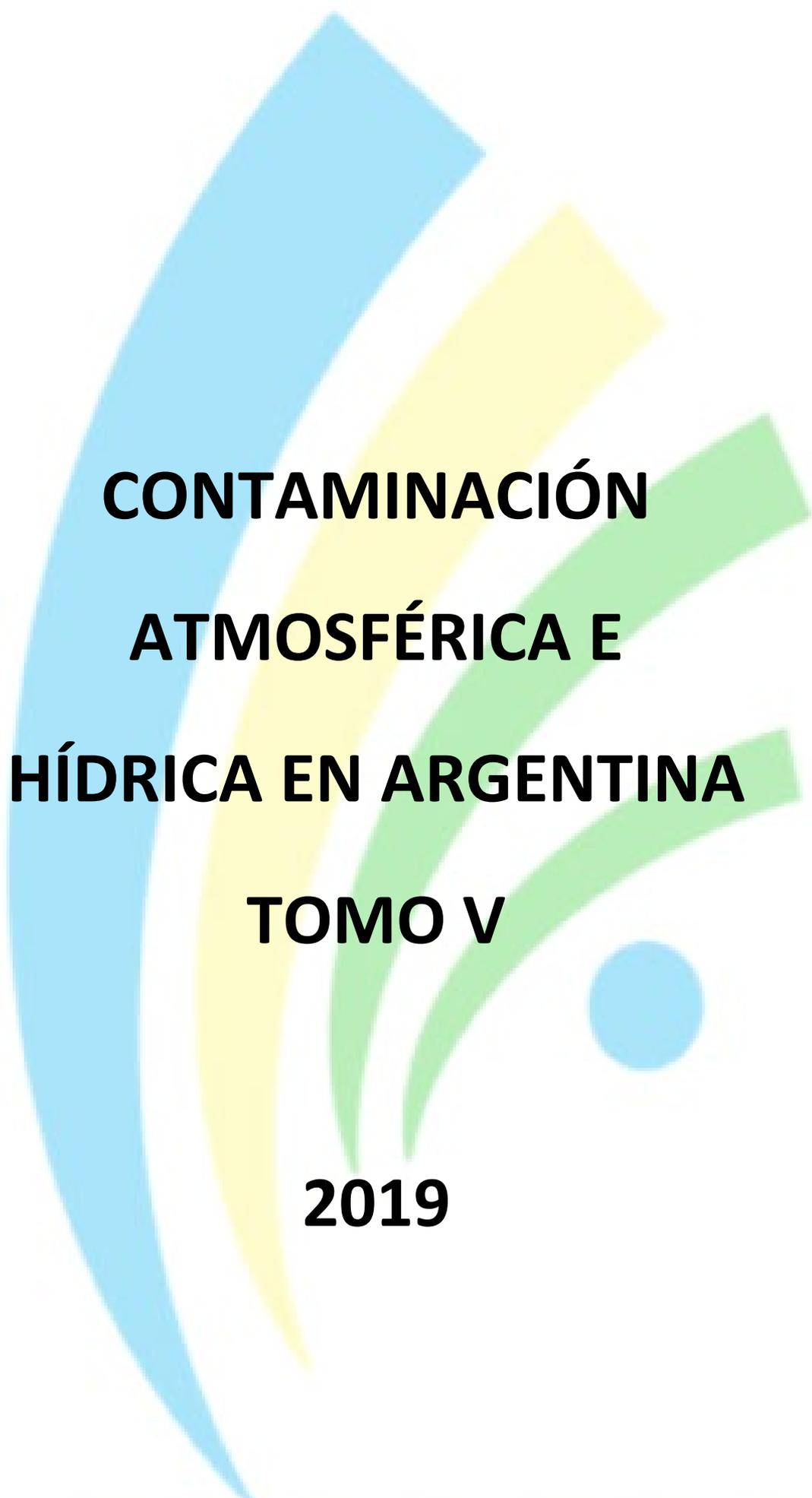


**CiN REUN**  
Red de Editoriales  
de Universidades Nacionales  
de la Argentina



Libro  
Universitario  
Argentino

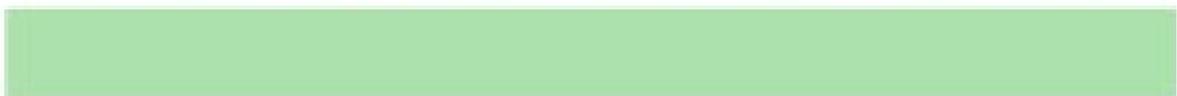




**CONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA E  
HÍDRICA EN ARGENTINA**

**TOMO V**

**2019**



Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina Tomo V : Contribuciones del VII Congreso PROIMCA y V Congreso PRODECA / Maria Cecilia Panigatti ... [et al.] ; contribuciones de Maria Celeste Schierano ; Carina Andrea Griffa ; compilado por Maria Cecilia Panigatti ; Rosana Boglione. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-41-5

1. Atmósfera. 2. Contaminación Atmosférica. 3. Contaminación del Agua. I. Panigatti , Maria Cecilia II. Schierano, Maria Celeste, colab. III. Griffa , Carina Andrea, colab. IV. Panigatti, Maria Cecilia, comp. V. Boglione, Rosana, comp.

CDD 577.276



**Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina Rector:**

Ing. Hector Eduardo **Aiassa**

**Vicerrector:** Ing. Haroldo **Avetta**

**Secretaria Académica:** Ing. Liliana Raquel **Cuenca Pletsch**

**Secretaria Ciencia, Tecnología y Posgrado:** Dr. Horacio **Leone**



**Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela**

**Decano:** Ing. Oscar **David**

**Vicedecano:** Ing. Miguel Angel **Crispin**

**Secretario de Ciencia y Tecnología y Posgrado:** Ing. Marcelo **Laorden**

Programa de Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado

Grupo de Estudios de Medio Ambiente - GEM - Facultad Regional Rafaela



**edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional**

**Coordinador General a cargo:** Fernando H. **Cejas**

**Área de edición y publicación en papel:** Carlos **Busqued**

Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente: Dr. Jaime **Moragues**.

Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723

© **edUTecNe, 2020**

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires,

República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



ISBN 978-987-4998-22-4



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

## ORGANIZADORES



GRUPO DE ESTUDIOS  
DE MEDIO AMBIENTE

## COMITÉ ORGANIZADOR PROIMCA-PRODECA 2019

### Coordinadores Generales:

Dra. María Cecilia Panigatti

Dr. Salvador Enrique Puliafito

### Comisión Organizadora:

Lic. Carina Griffa

Lic. Rosana Boglione

Dra. María Celeste Schierano

Lic. Luciana Jennerich

Tec. Melina Asforno

Ing. Marcelo Laorden

Lic. Alejandra Leonor Mahieu

Alejandra López

Melisa Franzotti

Agostina Heredia

Gonzalo Gutiérrez

## COMITÉ CIENTÍFICO PROIMCA-PRODECA 2019

Dr. Salvador Enrique Puliafito

Dra. María Cecilia Panigatti

Dra. Florencia Ruggeri

Dra. Gabriela Lakkis

Dr. Elian Wolfram

Dr. Ruben Santos

Ing. Roberto Pepino Minetti

Dra. Andrea Pineda Rojas

Lic. Carina Griffa

Lic. Rosana Boglione

Dra. María Celeste Schierano

Bioq. Alejandro Farías

Dra. Angélica Heredia

Ing. Aloma Sartor

Lic. Sandra Caffaratti

Lic. Gabriela Sanchez

Dra. Romina Ma. Pascual Flores

Dr. Tomás Rafael Bolaño-Ortiz

Dra. Nerina Belén Lana

Ing. César Eduardo Boschi

Dr. Pablo Roberto Dalmaso

Ing. David Pablo Saldeña

## **El Congreso ha sido declarado de interés por:**

El Consejo Directivo de la Facultad Regional Rafaela a través de la resolución 179/19 del 23 de mayo de 2019.

La Cámara de Diputados de la Provincia de Santa Fe en la Sesión realizada el 19 de junio de 2019.

El Concejo Municipal de la ciudad de Rafaela, a través de la Resolución N° 2435 de fecha 6 de junio de 2019.

## Contenido

<b>PRIMERA PARTE. ARTÍCULOS COMPLETOS DEL VII CONGRESO PROIMCA .....</b>	<b>21</b>
<b>Monitoreo de calidad del aire. Métodos e instrumentación. ....</b>	<b>22</b>
Evaluación del contenido de aldehídos en la atmósfera de la ciudad de Cordoba .....	23
Tecnologías iot aplicadas al Monitoreo de PM10 y PM2.5 en calidad de aire de la Ciudad de Córdoba.....	32
Evaluación de la concentración de METANO en argentina a partir de los datos satelitales gosat y sciamachy.....	46
Impacto de las emisiones por quema de biomasa sobre los patrones de precipitación en la provincia de Mendoza .....	57
Desarrollo de una rueda de olor como herramienta de gestión de olores en un relleno sanitario .....	67
Caracterización temporal de material particulado en Córdoba: número de partículas de pm10 y fracciones submicrométricas.....	78
<b>Modelos numéricos.....</b>	<b>87</b>
Inventario de alta resolución de las emisiones de metano del sector agricultura y ganadería .....	88
Especiación de inventarios de emisiones de aerosoles y compuestos orgánicos volátiles para el modelo WRF-CHEM, aplicado a los esquemas CBMZ Y MOZART .....	100
Distribución espacial y patrones de pops en la atmósfera del gran mendoza utilizando el sistema de modelado WRF/CALMET/ CALPUFF .....	112
Avances en el estudio del impacto de Partículas absorbentes de luz en la reducción de albedo en nieve en los andes centrales .....	125
<b>Cambio Global Climático. Huella de Carbono .....</b>	<b>135</b>
Huella de carbono: captación de agua versus alumbrado público .....	136
Huella de carbono de bicicleta eléctrica y su comparación con sistemas de transporte en argentina .....	147
<b>Calidad del aire y actividades contaminantes (Minería, petróleo, polos industriales, otros).....</b>	<b>158</b>
Detección de regiones de procedencia de dióxido de azufre frente a eventos, en Gran La Plata .....	159
<b>Transporte .....</b>	<b>170</b>
Estudio de inserción de vehículos eléctricos en una red de distribución según diferentes tecnologías de cargadores y hábitos de consumo del usuario .....	171
Transporte privado de pasajeros como servicio público, aportes para la gestión ambiental urbana, el caso de tandil, argentina.....	184
Emisiones atmosféricas generadas por la Actividad Aeroportuaria. Caso de Estudio: Aeropuerto Internacional Córdoba .....	196

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y contaminantes del aire generadas por el Parque Vehicular de la ciudad de Córdoba .....	206
<b>Contaminación acústica.....</b>	<b>216</b>
Evaluación del impacto acústico generado por la ampliación a gran escala de una planta industrial en la ciudad de bahía blanca .....	217
Análisis de la dinámica temporal de la contaminación acústica en un punto fijo de la ciudad de Córdoba.....	227
<b>Calidad de aire urbano y salud.....</b>	<b>235</b>
Reduccion de la contaminacion por mercurio con la aparicion de la tecnologia led ..	236
Fotocatalisis heterogénea para la inactivación de bioaerosoles en ambientes interiores .....	247
Estado de la calidad del aire de la ciudad de Córdoba: Actualización a casi dos décadas de su última evaluación.....	257
Acciones de saneamiento ambiental en la promoción de la salud respiratoria: experiencia en el jardín municipal de Alto Verde .....	269
Estudio del SISTEMA plata/titania como posible CATALIZADOR de óxidos de nitrógeno .....	279
Evaluación de riesgo ambiental por exposición a emisiones de fundición secundaria de plomo .....	292
Influencia de la nubosidad en la atenuación de radiación UV en situaciones de transporte de masas de bajo ozono en latitudes medias .....	302
Control de emisión de material particulado ambiental respirable en equipos secadores de arroz .....	312
Técnicas de Reducción de Óxidos de Nitrógeno (nox) en Planta de Energía Térmica con Hornos de Parrilla Inclínada móvil.....	319
<b>SEGUNDA PARTE ARTÍCULOS COMPLETOS DEL V CONGRESO PRODECA.....</b>	<b>326</b>
<b>Monitoreo de calidad del agua. Métodos e instrumentación.....</b>	<b>327</b>
Especiación de arsénico en agua por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de fluorescencia atómica con generación de hidruros .....	328
Hidroarsenicismo – actualización del mapa de arsenico de la rioja .....	336
Determinación de LA dureza de aguas por cromatografía catiónica: comparación metodológica por pares .....	343
Estudio comparativo de técnicas para determinación de arsénico en aguas subterráneas.....	350
Evaluación de la calidad del agua para uso recreativo del rio Ctalamochita.....	357
Primera etapa del diseño y desarrollo de un dispositivo de monitoreo remoto de calidad de agua .....	368

Interlaboratorio de arsénico empleando muestras referencia y aguas subterráneas de Rafaela (Santa Fe) y Cintra (Córdoba) .....	379
<b>Problemáticas naturales o antrópicas del agua superficial y subterránea. ....</b>	<b>390</b>
Análisis bidimensional de la calidad de agua del río Uruguay aguas abajo de la represa de Salto Grande mediante el modelo numérico MOHID .....	391
Salud de poblaciones con Arsénico en agua subterránea, generando estrategias de comunicación de riesgos .....	403
Crecimiento urbano y su influencia sobre los iones mayoritarios y nitrato antropogénico en ríos de montaña.....	415
Avances en la regionalización de curvas de duración de caudales para la provincia de Entre Ríos .....	426
Huella hídrica de un cultivo para alimentación animal en el centro oeste de la provincia de Santa Fe (Rafaela).....	438
<b>Modelos hidrológicos. Hidrología y cambio global climático.....</b>	<b>449</b>
Evaluación mediante índice de calidad de aguas DE arroyos de “cuenca de la zona sur” de la provincia de Buenos Aires .....	450
Simulación del flujo de agua subterráneas del acuífero pampeano en la ciudad de Rafaela, Santa Fe (Argentina).....	461
Aplicación del modelo QUAL2K para la predicción de la calidad del agua del río Suquia bajo diferentes escenarios de gestión.....	470
<b>Gestión del agua y la energía. Abastecimiento de agua. ....</b>	<b>479</b>
Efecto de la temperatura en la producción de biohidrógeno usando distintas fuentes de inóculo .....	480
Equipos para abatimiento de arsénico en agua para consumo humano por combinación de tecnologías: filtros de arena, procesos de oxidación avanzada y electrocoagulación .....	488
<b>Calidad del agua y actividades contaminantes. ....</b>	<b>499</b>
Concentraciones de fluoruros y de arsénico en localidades de la provincia de La Rioja .....	500
Modelo regresivo lineal a tramos basada en la detección automática de puntos de cambio en series de tiempo de calidad de agua .....	513
Control de turbidez en estuarios mediante lagunas de absorción dinámica.....	521
Desinfección de agua con UV-C: estudio del daño al adn de dos indicadores de calidad de agua mediante ERIC-PCR .....	532
Variación de la calidad del agua en dos balnearios públicos .....	541
Indicadores de la calidad del agua mediante los índices de contaminación .....	547
Evaluación de riesgo de contaminación por nitratos en agua subterránea de Colonia Caroya, Córdoba. ....	554

Evaluación de la eficiencia del uso del agua y el riesgo de contaminación por agroquímicos en producciones hortícolas periurbanas del norte de Córdoba.....	561
<b>Remediación de aguas. Humedales.....</b>	<b>570</b>
Tratamiento terciario de efluentes de una empresa láctea utilizando Wetlands construidos ....	571
Eficiencias de remoción y dinámica de contaminantes en wetlands de flujo subsuperficial para el tratamiento de efluentes de una industria láctea .....	584
Estudio fotocatalítico comparativo utilizando TiO <sub>2</sub> para la remediación de arsénico en aguas .....	597
Análisis de funcionamiento de una planta de desalación de agua con tecnología de humidificación y deshumidificación en la provincia de Santa Cruz .....	603
Diseño de un biorreactor anaeróbico para el tratamiento de excretas de bovinos y generación de biogas en una comunidad agropecuaria .....	611
Remoción de arsénico en aguas subterráneas empleando columnas de adsorción ...	624
Técnicas analíticas por fluorescencia de rayos X para estudios in vivo de la rizofiltración de zinc .....	632
Remoción de Arsénico mediante la aplicación de arcillas naturales .....	643
<b>Tratamiento de efluentes industriales. Reúso. Normativas.....</b>	<b>650</b>
Gestión de residuos líquidos peligrosos generados en laboratorio fisicoquímico de análisis: desde una simple destilación a la planta piloto .....	651
Bacillus Licheniformis como agente de biodegradación de Furfural y formador de biofilm .....	660
Degradación de colorantes textiles Por métodos electroquímicos .....	667
Acondicionamiento de aguas residuales de la industria olivícola de Córdoba.....	675
Pellets de plásticos reciclados: su utilización como medio de soporte bacteriano en lechos percoladores para tratamiento de aguas residuales industriales.....	684
<b>El rol de la Ingeniería en los problemas del agua. Educación.....</b>	<b>696</b>
Procesos de oxidación avanzada, ingeniería catalítica para la remediación ambiental .....	697
Procesos de oxidación avanzada utilizando TiO <sub>2</sub> para la remediación microbiana de aguas .....	707
<b>Docencia. Trabajos finales. Tesis de Maestría .....</b>	<b>714</b>
Determinación de sustancias odoríferas en agua de bebida POR SPME/GC/MSMS (triple cuadrupolo) .....	715
Reúso de agua cloacal para riego de flores ornamentales en Tucuman.....	728
Evaluación del estado trófico de lagunas de tratamiento de efluentes lácteos.....	740
Estudio teórico comparativo de síntesis de Acetato de Fenilo .....	750

Evaluación del contenido de aldehídos en la atmósfera de la ciudad de Cordoba .....	758
Tecnologías IOT aplicadas al Monitoreo de PM10 y PM2.5 en calidad de aire de la Ciudad de Córdoba. ....	759
Evaluación de la concentración de metano en argentina a partir de los datos satelitales Gosat y Sciamachy .....	760
Impacto de las emisiones por quema de biomasa sobre los patrones de precipitación en la provincia de Mendoza .....	761
Desarrollo de una rueda de olor como herramienta de gestión de olores en un relleno sanitario .....	762
Caracterización temporal de material particulado en córdoba: número de partículas de pm10 y fracciones submicrométricas.....	763
Envirosmartcba: relevamiento y actualización de la situación ambiental de la Ciudad de Córdoba – Parte 1.....	764
Comparación de la variabilidad de pesos en filtros sin desecador y con desecador para PM10 .....	765
Variabilidad espacial y temporal de monóxido de carbono y aerosoles en ciudades latinoamericanas .....	766
Análisis de aguas por espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) .....	767
Inventario de alta resolución de las emisiones de metano del sector agricultura y ganadería .....	768
Especiación de inventarios de emisiones de aerosoles y compuestos orgánicos volátiles para el modelo WRF-CHEM, aplicado a los esquemas CBMZ y MOZART .....	769
Distribución espacial y patrones de pops en la atmósfera del gran Mendoza utilizando el sistema de modelado WRF/CALMET/ CALPUFF .....	770
Avances en el estudio del impacto de Partículas absorbentes de luz en la reducción de albedo en nieve en los andes centrales .....	771
Huella de carbono: captación de agua versus alumbrado público .....	772
Huella de carbono de bicicleta eléctrica y su comparación con sistemas de transporte en Argentina .....	773
Detección de regiones de procedencia de dióxido de azufre frente a eventos, en Gran La Plata .....	774
Estudio de inserción de vehículos eléctricos en una red de distribución según diferentes tecnologías de cargadores y hábitos de consumo del usuario .....	775
Transporte privado de pasajeros como servicio público, aportes para la gestión ambiental urbana, el caso de Tandil, Argentina.....	776
Emisiones atmosféricas generadas por la Actividad Aeroportuaria. Caso de Estudio: Aeropuerto Internacional Córdoba .....	777

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y contaminantes del aire generadas por el Parque Vehicular de la ciudad de Córdoba .....	778
Evaluación del impacto acústico generado por la ampliación a gran escala de una planta industrial en la ciudad de Bahía Blanca .....	779
Análisis de la dinámica temporal de la contaminación acústica en un punto fijo de la ciudad de Córdoba.....	780
Reduccion de la contaminacion por mercurio con la aparicion de la tecnologia led ..	781
Fotocatalisis heterogénea para la inactivación de bioaerosoles en ambientes interiores .....	782
Estado de la calidad del aire de la ciudad de Córdoba: Actualización a casi dos décadas de su última evaluación.....	783
Acciones de saneamiento ambiental en la promoción de la salud respiratoria: experiencia en el jardín municipal de Alto Verde .....	784
Estudio del sistema plata/titania como posible catalizador de óxidos de nitrógeno ..	785
Evaluación de riesgo ambiental por exposición a emisiones de fundición secundaria de plomo .....	786
Influencia de la nubosidad en la atenuación de radiación UV en situaciones de transporte de masas de bajo ozono en latitudes medias .....	787
Control de emisión de material particulado ambiental respirable en equipos secadores de arroz .....	788
Técnicas de Reducción de Óxidos de Nitrógeno (nox) en Planta de Energía Térmica con Hornos de Parrilla Inclínada móvil.....	789
Contaminación de aire en planta compresora de gas natural .....	790
<b>CUARTA PARTE. RESÚMENES DEL V CONGRESO PRODECA .....</b>	<b>791</b>
Especiación de arsénico en agua por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de fluorescencia atómica con generación de hidruros .....	792
Hidroarsenicismo – actualización del mapa de arsenico de La Rioja.....	793
Determinación de LA dureza DE aguas por cromatografía catiónica: comparación metodológica por pares .....	794
Estudio comparativo de técnicas para determinación de arsénico en aguas subterráneas .....	795
Evaluación de la calidad del agua para uso recreativo del rio Ctalamochita .....	796
Primera etapa del diseño y desarrollo de un dispositivo de monitoreo remoto de calidad de agua .....	797
Interlaboratorio de arsénico empleando muestras referencia y aguas subterráneas de Rafaela (Santa Fe) y Cintra (Córdoba) .....	798
Análisis bidimensional de la calidad de agua del río Uruguay aguas abajo de la represa de Salto Grande mediante el modelo numérico MOHID .....	799

Salud de poblaciones con Arsénico en agua subterránea, generando estrategias de comunicación de riesgos .....	800
Crecimiento urbano y su influencia sobre los iones mayoritarios y nitrato antropogénico en ríos de montaña.....	801
Avances en la regionalización de curvas de duración de caudales para la provincia de Entre Ríos .....	802
Huella hídrica de un cultivo para alimentación animal en el centro oeste de la provincia de Santa Fe (Rafaela).....	803
Evaluación mediante índice de calidad de aguas de arroyos de “cuenca de la zona sur” de la provincia de Buenos Aires .....	804
Simulación del flujo de agua subterráneas del acuífero pampeano en la ciudad de Rafaela, Santa Fe (Argentina).....	805
Aplicación del modelo Qual2K para la predicción de la calidad del agua del río Suquía bajo diferentes escenarios de gestión.....	806
Efecto de la temperatura en la producción de biohidrógeno usando distintas fuentes de inóculo .....	807
Equipos para abatimiento de arsénico en agua para consumo humano por combinación de tecnologías: filtros de arena, procesos de oxidación avanzada y electrocoagulación .....	808
Concentraciones de fluoruros y de arsénico en localidades de la provincia de La Rioja .....	809
Modelo regresivo lineal a tramos basada en la detección automática de puntos de cambio en series de tiempo de calidad de agua .....	810
Control de turbidez en estuarios mediante lagunas de absorción dinámica.....	811
Desinfección de agua con UV-C: estudio del daño al adn de dos indicadores de calidad de agua mediante ERIC-PCR .....	812
Variación de la calidad del agua en dos balnearios públicos .....	813
Indicadores de la calidad del agua mediante los índices de contaminación .....	814
Evaluación de riesgo de contaminación por nitratos en agua subterránea de Colonia Caroya, Córdoba.....	815
Evaluación de la eficiencia del uso del agua y el riesgo de contaminación por agroquímicos en producciones hortícolas periurbanas del norte de Córdoba.....	816
Tratamiento terciario de efluentes de una empresa láctea utilizando Wetlands construidos .....	817
Estudio fotocatalítico comparativo utilizando TiO <sub>2</sub> para la remediación de arsénico en aguas .....	818
Análisis de funcionamiento de una planta de desalación de agua con tecnología de humidificación y deshumidificación en la provincia de Santa Cruz .....	819

Diseño de un biorreactor anaeróbico para el tratamiento de excretas de bovinos y generación de biogas en una comunidad agropecuaria .....	820
Remoción de arsénico en aguas subterráneas empleando columnas de adsorción ...	821
Técnicas analíticas por fluorescencia de rayos X para estudios in vivo de la rizofiltración de zinc .....	822
Remoción de arsénico mediante la aplicación de arcillas naturales.....	823
Sistemas Wetlands para el tratamiento de efluentes industriales en Argentina .....	824
Selección de especies de macrófitos para ser utilizadas en un humedal de flujo sub superficial vertical para el tratamiento de líquido lixiviado proveniente de un relleno sanitario cerrado. ....	825
Efecto de la matriz acuosa en la remoción de Arsénico(v) mediante coagulación química y electrocoagulación.....	826
Gestión de residuos líquidos peligrosos generados en laboratorio fisicoquímico de análisis: desde una simple destilación a la planta piloto .....	827
Bacillus licheniformis como agente de biodegradación de furfural y formador de biofilm .....	828
Degradación de colorantes textiles Por métodos electroquímicos .....	829
Acondicionamiento de aguas residuales de la industria olivícola de Córdoba.....	830
Pellets de plásticos reciclados: su utilización como medio de soporte bacteriano en lechos percoladores para tratamiento de aguas residuales industriales.....	831
Nanopartículas bimetálicas biosintetizadas con extractos acuosos de yerba mate: caracterización y degradación catalítica de colorantes industriales.....	832
Procesos de oxidación avanzada, ingeniería catalítica para la remediación ambiental .....	833
Procesos de oxidación avanzada utilizando tio <sub>2</sub> para la remediación microbiologica de aguas .....	834
Determinación de sustancias odoríferas EN agua de bebida POR SPME/GC/MSMS (triple cuadrupolo) .....	835
Reúso de agua cloacal para riego de flores ornamentales en Tucuman.....	836
Evaluación del estado trófico de lagunas de tratamiento de efluentes lácteos.....	837
Estudio teórico comparativo de síntesis de acetato de fenilo .....	838
Adas – dispenser de agua con remoción de arsénico. Proyecto de inversión .....	839

PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA UTILIZANDO  $\text{TiO}_2$  PARA LA REMEDIACIÓN MICROBIOLÓGICA DE AGUAS

Morgade Cecilia I. N.<sup>1</sup>, Sandoval Marisa J.<sup>2</sup> Brugnoni Lorena I.<sup>3</sup>

1: Materiales Catalíticos para la remediación ambiental  
UTN FRBB- Dpto. Física-UNS, IFISUR (UNS-CONICET)  
11 de abril 461-Av. Alem 1253  
cmorgade@frbb.utn.edu.ar-cmorgade@uns.edu.ar

2: Materiales Catalíticos para la remediación ambiental  
UTN FRBB – Depto. Biología y ciencias biomédicas-UNS, INBIOSUR (UNS-CONICET)  
11 de abril 461-Av. Alem 1253  
msandova@uns.edu.ar

3: Materiales Catalíticos para la remediación ambiental  
Depto. Biología Bioquímica y Farmacia-UNS, INBIOSUR (UNS-CONICET)  
Av. Alem 1253  
brugnoni@uns.edu.ar

**Resumen.** *En los países desarrollados, los patógenos en los suministros de agua potable normalmente se eliminan por filtración en arena seguida de desinfección química. La presencia de microorganismos patógenos tanto en aguas residuales como en aguas de consumo humano amerita la búsqueda de estrategias de control alternativas. La fotocatalisis permite la remediación y la desinfección de aguas como una tecnología de oxidación avanzada "verde". Ésta utiliza la radiación solar como fuente de generación de los precursores químicos implicados en la remediación y desinfección. En particular el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) es un fotocatalizador estable, económico e inocuo. En la actualidad son necesarios estudios para la optimización de su eficiencia como remediador de aguas tanto en sus estructuras anatasa como rutilo. La fotocatalisis solar mediada por titanio podría suplantar de manera más inocua a otros tratamientos en base a desinfectantes, antibióticos u otros productos bactericidas de mayor toxicidad. En el presente trabajo se compara la efectividad de los polimorfos anatasa y rutilo puros en presencia y en ausencia de radiación tanto solar como proveniente de lámparas UV de longitud de onda controlada sobre *Escherichia coli*. Los resultados muestran disminución apreciable y comparable de la concentración de microorganismos en las muestras tratadas con radiación en presencia de  $\text{TiO}_2$  en sus dos formas polimórficas.*

**Palabras clave:** Fotocatalisis,  $\text{TiO}_2$ , Remediación ambiental, Eficiencia bactericida.

## 1. INTRODUCCIÓN

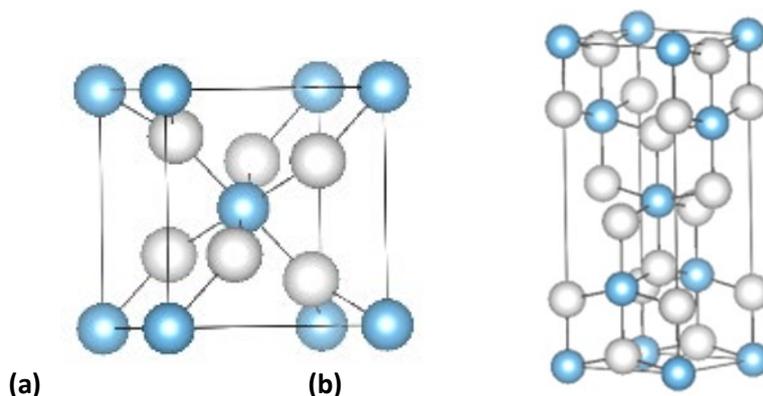
Uno de los recursos naturales de mayor concentración de microorganismos altamente patógenos para el hombre es el agua. Los graves trastornos en salud están vinculados no solo a su consumo directo sino además, por el uso en el lavado de alimentos y de superficies en contacto con estos (Brassard et al., 2011). Según la Organización Mundial de la Salud, en 2015 aproximadamente 2.000 millones de personas recibieron agua contaminada con materia fecal (McGuigan 2012). La falta de agua dulce inocua en algunos lugares es uno de los mayores retos a nivel mundial. Lamentablemente se estima que de no mediar soluciones los problemas con el agua empeoren en las próximas décadas, con la escasez de agua en todo el mundo (Montgomery y Elimelech, 2007). Cada año, innumerables personas contraen enfermedades transmitidas por el agua a través de microorganismos como virus, bacterias y protozoos. Muchos virus además han sido reportados como causas de desnutrición porque conducen a una mala digestión (Lima et al., 2000; Singhy y Bengtsson, 2005; Shannon et al., 2008). De allí la necesidad de buscar estrategias de desinfección del agua accesible a todo tipo de población, sobre todo para la de menores recursos.

En los países en desarrollo, los agentes patógenos en los suministros de agua potable normalmente se eliminan por filtración en arena seguida de desinfección química. Tradicionalmente la desinfección del agua se logra mediante la adición de cloro. Tanto éste como la ozonización conducen a la formación de productos orgánicos por desinfección (DBPs) potencialmente mutagénicos y carcinogénicos tales como aldehídos, ácidos carboxílicos, cetonas y bromatos (Huang et al., 2005). Por otra parte, la ozonización al ser una tecnología más compleja que la cloración, requiere equipos complejos y sistemas de contacto eficientes (Sichel et al., 2007). Por su parte, la desinfección del agua por irradiación UV a menudo resulta en el recrecimiento bacteriano después de la eliminación de la luz UV (Haaken et al., 2013). Es necesario, por lo tanto, dedicar tiempo a la búsqueda y desarrollo de métodos alternativos de potabilización.

La fotocatalisis permite la remediación y la desinfección de aguas como una tecnología de oxidación avanzada "verde". Ésta utiliza la radiación solar como fuente de generación de los precursores químicos implicados en la remediación y desinfección. A partir de la activación mediante una porción de la radiación ultravioleta de la luz solar, se generan portadores de carga responsables de reacciones del tipo oxidación reducción.

El fotocatalizador más utilizado es el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ). Éste se encuentra en la naturaleza en diferentes formas polimórficas, siendo anatasa, brookita y rutilo las tres más abundantes y estables. Otras estructuras menos estables son columbita, fluorita, baddeleyita, piritita y cotunnita. La anatasa, ha sido hasta la actualidad reportada como la fase más fotoactiva debido a su mayor movilidad de portadores de carga, menor recombinación, menor densidad y mayor presencia natural de superficies activas (Zhang et al., 2017). Sin embargo la forma cristalina rutilo es mucho más abundante y por tanto más económica.

En la Figura 1 se muestran las estructuras cristalinas de los polimorfos más abundantes y estables, anatasa y rutilo.



**Figura 1.** Celda unitaria de  $\text{TiO}_2$  de (a) rutilo y (b) anatasa, estructura de octaedros espacialmente enlazados. Las esferas celestes corresponden a los átomos de Ti y las blancas a los de O.

Particularmente, el  $\text{TiO}_2$  es un fotocatalizador estable, económico e inocuo. La irradiación del  $\text{TiO}_2$  con luz UV ( $\sim\lambda < 400 \text{ nm}$ ) da como resultado la promoción de un electrón ( $e^-$ ) desde la banda de valencia (BV) a la banda de conducción (BC), dejando un hueco positivo ( $h^+$ ) en la BV. Estos huecos generados pueden migrar a la interfaz del sólido con la solución y oxidar a los iones hidroxilo o al agua para formar radicales hidroxilo. La recombinación de huecos y electrones limita su eficiencia. Por su parte, los electrones fotogenerados en la BC deben eliminarse de la BC para mantener la neutralidad eléctrica. De ahí que el oxígeno disuelto, entre otros, actúe como aceptor de electrones. La reducción del oxígeno disuelto genera especies reactivas de oxígeno adicionales, como el anión radical superóxido y el peróxido de hidrógeno. Dichas especies de oxígeno reactivo pueden alterar y dañar las funciones y estructuras celulares (ADN y membranas celulares) siendo bacteriostático/bactericida (Kim et al., 2005; Ashikaga et al., 2000).

Sin embargo, la eficiencia del  $\text{TiO}_2$  aún no es la deseada ya que solo es capaz de aprovechar el 4% del espectro de luz solar. Por otro lado, es sabido que mediante el dopado con elementos tanto metálicos como no metálicos, la deposición de metales nobles e incluso el codopado, es posible modificar la energía requerida para su activación y cambiar sus potenciales oxidantes y reductores (Morgade et al., 2017). De hecho, los estudios en la disminución de la energía requerida para la activación del sistema y de la recombinación de las cargas generadas son clave en la comprensión de los procesos involucrados. Además, el comportamiento químico del  $\text{TiO}_2$  es diferente debido a la multiplicidad polimórfica que presenta. En general, los estudios se realizan en catalizadores comerciales del tipo Degussa P25 que a su vez contienen diferente proporción de las estructuras anatasa-rutilo (catalizadores mixtos). Es muy escasa la información con que se cuenta en la literatura actual sobre trabajos de remediación y desinfección de aguas basados en el polimorfo rutilo puro ya que de ambos polimorfos éste ha sido reportado con una actividad química menor que la anatasa.

La fotocatálisis se declara ampliamente como un proceso de uso de la luz para activar un sustrato, para acelerar o facilitar fotorreacciones pero con el catalizador sin consumir. Si bien en la literatura se registra el uso de la reacción de oxidación fotocatalítica del  $\text{TiO}_2$  para la eliminación de materiales orgánicos y contaminantes en aguas de consumo como en las

residuales, son necesarios estudios tendientes a valorar la optimización de su eficiencia tanto en sus estructuras anatasa como rutilo. Tal es así que para valorar los efectos fotocatalíticos del uso de la luz UV sobre diferentes tipos de bacterias patógenas es preciso conocer y establecer rangos o valores fijos de las variables involucradas. A saber, el rango de luz UV usada, el tiempo de exposición, la temperatura alcanzada, el tipo de estructura del TiO<sub>2</sub> usada, el número de bacterias presentes, como prioritarias al momento de evaluar una estrategia.

El control de la calidad microbiológica del agua de consumo requiere de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. La alternativa para realizar un control fiable, económico y rápido de la calidad microbiológica del agua es el uso de indicadores de contaminación fecal. Entre los indicadores de contaminación fecal más utilizados se encuentra *Escherichia coli* (*E. coli*). Las bacterias indicadoras permiten realizar la clasificación sanitaria de las aguas para diferentes usos, la determinación de criterios para las normas de calidad, la identificación de contaminantes, el control de procesos de tratamiento de agua y estudios epidemiológico.

En el presente trabajo, elaborado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID UTN 4901) denominado “Materiales catalíticos para remediación medioambiental”, se compara como primer aproximación al estudio del TiO<sub>2</sub> como remediador bactericida la efectividad de los polimorfos anatasa y rutilo puros en presencia y en ausencia de radiación proveniente de una lámpara UV de longitud de onda controlada sobre el crecimiento de la bacteria *E. coli*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La titania utilizada, TiO<sub>2</sub> estructura rutilo y estructura anatasa, fue caracterizada por difracción de rayos X (DRX) con un equipo Rigaku D-Max IIIC operado con radiación de Cu K $\alpha$  y monocromador de grafito a 35 kV y 15mA. Los espectros obtenidos corresponden a estructuras rutilo y anatasa puras respectivamente. El tamaño de partículas y la dispersión de las mismas se estudió por Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) con un equipo Marca JEOL, modelo 100 CX II, operado a un voltaje de aceleración de 100 kV y una magnificación de 50000x.

Para el cultivo bacteriano se usó una cepa de *E. coli* ATCC 25922 en caldo tripcasa soja (TSB, Biokar) incubado 18 h a 37°C. Se lavó tres veces con agua tridestilada estéril (centrifugando a 4000 x g durante 10 min.). Se ajustó la concentración a 1x10<sup>8</sup> células/mL. Posteriormente 1 mL de dicha suspensión se diluyó en 99 mL de agua tridestilada estéril de pH 6.5 (S-H<sub>2</sub>O) o, en 99 mL de suspensión de TiO<sub>2</sub> estructura anatasa (1 g/L) (S-TiO<sub>2</sub>A) o, en 99 mL de suspensión de TiO<sub>2</sub> estructura rutilo (1 g/L) (S-TiO<sub>2</sub>R). Se sembró 1 mL de cada condición por la técnica de agar volcado en agar para recuento en placa (PCA, Britania) e incubó a 37°C durante 24-48 h (T0). Para evaluar el efecto de la luz UV se colocaron las S-H<sub>2</sub>O, S-TiO<sub>2</sub>A y S-TiO<sub>2</sub>R bajo el efecto de la lámpara UV a 50 cm de distancia con agitación controlada (Figura 2) y se fueron tomando alícuotas de 1 mL a diferentes tiempos (5, 10, 30, 60, 90, 120, 180, 240 y 300 min.). Las mismas se sembraron para recuento en placa incubando a 37 °C por 24-48 h (T5, T10, T30, T60, T90, T120, T180, T240 y T300). Los

recuentos de colonias microbianas se expresaron como UFC/mL (unidades formadoras de colonias por mililitro de muestra) y se convirtieron en una relación de supervivencia ( $N/N_0$ ) donde  $N_0$  es el valor de UFC/mL al tiempo 0 y  $N$  representa el mismo valor a un tiempo de exposición dado.



Figura 2. Disposición de la solución de  $TiO_2$  frente a la lámpara UV

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra de anatasa presentó en promedio, menor tamaño (115.2 nm) que la de rutilo (230.8 nm). Como se registra en la Tabla 1, en los tiempos ensayados se observó la disminución del número de *E. coli* en presencia del  $TiO_2$  en las dos formas polimórficas estudiadas hacia los 30 minutos de exposición a la radiación UV. No obstante, la disminución registrada a tiempos inferiores a los 90 min no mostró la eficiencia esperada según datos en la literatura (Kim *et al.*, 2013). A partir de los 240 min fue notorio el descenso en el crecimiento bacteriano como se desprende de la Figura 3. Los valores de pH para los diferentes tiempos de ensayo arrojó una media de 6.55 para la estructura anatasa y de 6.30 para el rutilo.

Tabla 1. Crecimiento bacteriano a los tiempos ensayados

Tiempo	UFC/ml <i>E. coli</i> ATCC 25922	
	Anatasa	Rutilo
0	$1.8 \times 10^6$	$1.5 \times 10^6$

5	$1.4 \times 10^6$	$1.0 \times 10^6$
10	$2.0 \times 10^6$	$1.2 \times 10^6$
30	$6.0 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$
60	$3.0 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$
90	$1.5 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$
120	$1.0 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5$
180	$1.0 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5$
240	$1.0 \times 10^2$	$9.0 \times 10^1$
300	$1.0 \times 10^2$	$9,5 \times 10^1$

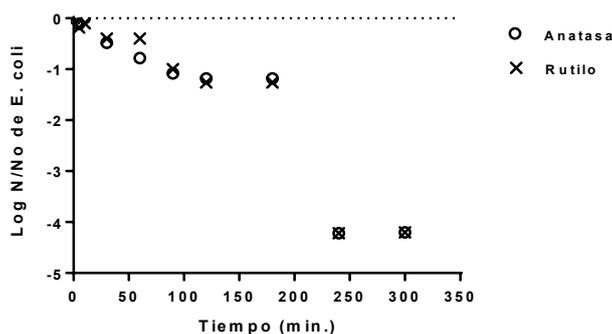


Figura 3. Efecto bactericida/bacteriostático del TiO<sub>2</sub>

Siendo los trabajos publicados en la bibliografía sólo con TiO<sub>2</sub> comercial de fase mixta o con anatasa pura es importante indicar que la fase rutilo, en general más económica y más estable ha mostrado un comportamiento similar. Si bien la disminución del crecimiento bacteriano a los 240 y 300 min es notable, es preciso discriminar el efecto *per se* de la luz UV durante esos tiempos de exposición como así también el efecto térmico que genera la radiación.

#### 4. CONCLUSIONES

- Los resultados hasta el momento muestran disminución de la concentración de microorganismos en las muestras tratadas con radiación en presencia de TiO<sub>2</sub> en sus dos formas polimórficas.
- Considerando que, a menor tamaño de las partículas mayor actividad catalítica o fotocatalítica y, que el rutilo registró un mayor tamaño respecto a la anatasa con resultados similares a nivel del poder bacteriostático/bactericida, amerita continuar el estudio con esta forma cristalina. Además, otras ventajas no menores de la fase rutilo son, su abundancia natural y su valor comercial considerablemente inferior al de la anatasa,
- No obstante, aún se requieren muchos estudios del TiO<sub>2</sub> como remediador microbicida.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Ashikaga, T., Wada, M., Kobayashi, H., Mori, M., Katsumura, Y., Fukui, F., Kato, S., Yamaguchi, M., Takamatsu, T., (2000). Effect of the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> on plasmid DNA. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 466, 1-7.
- Brassard, J., Guévremont, E., Gagne, M.J., Lamoureux, L., (2011). Simultaneous recovery of bacteria and viruses from contaminated water and spinach by a filtration method. *International Journal of Food Microbiology*, 144, 565-568.
- Haaken, D., Schmalz, V., Dittmar, T., Worch, E., (2013). Limits of UV disinfection: UV/electrolysis hybrid technology as a promising alternative for direct reuse of biologically treated wastewater. *Journal Water Supply: Research Technology*, 62 (7), 442–451.
- Huang, W.J., Fang, G.C., Wang, C.C. (2005). The determination and fate of disinfection by-products from ozonation of polluted raw water. *Science Total Environment*, 345, 261–272.
- Kim, S., Ghafoor, K., Lee, J., Feng, M., Hong, J., Lee, D.U., Park, J. (2013). Bacterial inactivation in water, DNA strand breaking, and membrane damage induced by ultraviolet-assisted titanium dioxide photocatalysis. *Water Research*, 47:4403-4411.
- Kim, T.Y., Lee, Y.H., Park, K.H., Kim, S.J., Cho, S., (2005). A study of photocatalysis of TiO<sub>2</sub> coated onto chitosan beads and activated carbon. *Research on Chemical Intermediates*, 31, 343-358.
- Lima, A.A.M., Moore, S.R., Barboza, M.S., Soares, A.M., Schlepner, M.A., Newman, R.D., et al., (2000). Persistent diarrhea signals a critical period of increased diarrhea burdens and nutritional shortfalls: a prospective cohort study among children in northeastern Brazil. *Journal of Infectious Diseases*, 181, 1643–1651.
- Zhang M., Chen T., Wang Y. (2017). Insights into TiO<sub>2</sub> polymorphs: highly selective synthesis, phase transition, and their polymorphdependent properties. *RSC Advances*, 7, 52755-52761
- McGuigan, K.G., Conroy, R.M., Mosler, H.J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E., Fernandez-Ibañez, P. (2012). Monitoring Health for the SDGs Sustainable Development Goals, World Health Organization, *Journal of Hazardous Materials*, 235–236:29–46.
- Montgomery, M.A., Elimelech, M. (2007). Water and sanitation in developing countries: including health in the equation. *Environment Science Technology*, 41, 17–24.
- Morgade C.I.N., Cabeza G. F. (2017). First-principles study of codoping TiO<sub>2</sub> systems capable of improving the specific surface area and the dissociation of H<sub>2</sub>O to generate H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. *Computational Materials Science* 127, 204–210.
- Shannon, M.A., Bohn, P.W., Elimelech, M., Georgiadis, J.G., Marinas, B.J., Mayes, A.M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452, 301–310.
- Sichel, C., Blanco, J., Malato, S., Fernandez-Ibanez, P. (2007). Effects of experimental conditions on *E. coli* survival during solar photocatalytic water disinfection. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 189, 239–246.
- Singh, P., Bengtsson, L. (2005). Impact of warmer climate on melt and evaporation for the rainfed, snowfed and glacierfed basins in the Himalayan region. *J. Hydrol.* 300 (1-4), 140–154.