

Proxectos de investigación financiados pola Excma. Deputación de Pontevedra á Universidade de Vigo

2023

Universida_{de}Vigo

 Deputación
Pontevedra

**Proxectos de investigación financiados pola Excma.
Deputación de Pontevedra á Universidade de Vigo 2023**

Autores/as Investigadores Principais:

Lorenzo Antonio Justo Cousiño
Aida María Díez Sarabia
María Talavera Nevado
Alejandra Alonso Calvete
Martín Otero Agra
Ana Sousa-Castillo
Luis Velasco-Martínez
Aide Lasa González

Coordinación:

Vicerreitoría de Investigación, Transferencia e Innovación
e Vicerreitoría do Campus de Pontevedra.

Editores:

Sandra Bolaño Garcia e Ana María Bernabeu Tello

ISBN: 978-84-1188-011-4

Depósito legal: VG 180-2024

Deseño da portada: Tania Sueiro. Área de Imaxe da
Universidade de Vigo.

Fotografía da portada: Adobe stock.

Maquetación: Dubidú Estudio Gráfico

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluído fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación, sen o permiso previo o por escrito das persoas titulares do copyright.

Proxectos de investigación
financiados pola Excma.
Deputación de Pontevedra
á Universidade de Vigo
2023



ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Efecto dunha intervención de fisioterapia baseada en exercicio terapéutico sobre o benestar psicolóxico de mulleres vítimas de violencia de xénero..... | 9 |
| Remediación de efluentes tóxicos a través de procesos electroquímicos..... | 21 |
| Desenvolvemento de entidades de grafeno con iridio coma axentes fototérmicos en fototerapia..... | 29 |
| Novas estratexias de simulación adaptada na formación de Soporte Vital Básico nas escolas..... | 37 |
| Preservación dos hábitats acuáticos mediante o desenvolvemento de sensores nanoestructurados para a identificación de contaminantes emerxentes na auga..... | 49 |
| Análise de despoboamento e da reconfiguración espacial da poboación na Provincia de Pontevedra do século XXI..... | 59 |
| A plastisfera da Ría de Vigo: estrutura da poboación microbiana, estratexias funcionais e o seu impacto nos ciclos bioxeoquímicos..... | 73 |

PRÓLOGO



Universida_deVigo



É para nós un pracer presentar nesta publicación o resultado dos traballos presentados do Programa de axudas financiado pola Deputación de Pontevedra para o desenvolvemento de iniciativas investigadoras promovidas por persoal investigador dos campus de Vigo e de Pontevedra.

Nun mundo cambiante onde a interdisciplinariedade é a clave para tratar os desafíos actuais, esta publicación emerxe como un faro de coñecemento que ilumina as fronteiras entre as diversas áreas do saber. Desde as ciencias da saúde as ciencias sociais, pasando pola enxeñería e o dereito, cada un dos artigos aquí recollidos ofrece unha mirada única e valiosa sobre problemáticas contemporáneas e relevantes na nosa contorna da provincia de Pontevedra.

Estes traballos ofrecen aventurarnos nunha viaxe que abrangue desde a atención integral ás vítimas de violencia de xénero ata o desenvolvemento de tecnoloxías innovadoras para a preservación do medio ambiente. En cada un destes temas, destilase un profundo compromiso co benestar e a sostibilidade do planeta.

Desde a aplicación de terapias físicas para mellorar o benestar psicolóxico de mulleres vítimas de violencia de xénero, ata o uso de nanoestruturas para identificar contaminantes emerxentes na auga, neste compendio reflíctese o espírito innovador e a busca constante de solucións efectivas para os desafíos contemporáneos.

Cada artigo deste volume representa o resultado do esforzo e da dedicación de investigadores e investigadoras comprometidos co avance do coñecemento e do benestar da sociedade. Mediante unha investigación rigorosa e unha colaboración interdisciplinaria, estes estudos contribúen de maneira significativa ao desenvolvemento humano e ao coidado do medio ambiente.

Dende a Vicerreitoría de Investigación, Transferencia e Innovación e a Vicerreitoría do campus de Pontevedra queremos agradecer a colaboración da Deputación de Pontevedra, así como o esforzo realizado por todo o persoal investigador participante dos campus de Vigo e de Pontevedra, con traballos de gran calidade que sen dúbida van ser de grande interese e utilidade para o tecido social e empresarial da nosa provincia.

Nun momento en que a colaboración entre disciplinas é máis necesaria ca nunca, esta publicación lémbra-nos a importancia de transcender as fronteiras académicas e de traballar xuntos na busca dun mundo máis saudable, equitativo e sostible.

Belén Rubio Armesto

Vicerreitora de Investigación, Transferencia e Innovación

Eva Lantarón Caeiro

Vicerreitora do Campus de Pontevedra



IP: Lorenzo Antonio Justo Cousiño

Grupo de Investigación Fisioterapia Clínica (FS1),
Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS
Galicia Sur). SERGAS-UVIGO, Galicia, España.

Universidade de Vigo, Facultade de Fisioterapia,
Campus A Xunqueira, Galicia, España.

lorenzo.justo@uvigo.es

Autores:

**Rocío Abalo Núñez,
Mercedes Soto González,
Iria Da Cuña Carrera,
Eva María Lantarón Caeiro**

Grupo de Investigación Fisioterapia Clínica (FS1),
Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS
Galicia Sur),SERGAS-UVIGO, Galicia, España.

Universidade de Vigo, Facultade de Fisioterapia,
Campus A Xunqueira, Galicia, España.

EFECTO DUNHA INTERVENCIÓN DE FISIOTERAPIA BASEADA EN EXERCICIO TERAPÉUTICO SOBRE O BENESTAR PSICOLÓXICO DE MULLERES VÍTIMAS DE VIOLENCIA DE XÉNERO

Resumo

As mulleres vítimas de violencia de xénero sofren un deterioro da saúde mental como: ansiedade, estrés e depresión. A eficacia do exercicio terapéutico na saúde mental está amplamente evidenciada. Sen embargo, non se coñece o efecto do exercicio terapéutico sobre esta poboación. Por isto, o obxectivo deste ensaio controlado foi avaliar o efecto dun programa de exercicios terapéuticos sobre o benestar psicolóxico das mulleres superviventes de violencia de xénero.

No estudo participaron 12 mulleres superviventes de violencia de xénero que pertencen ós CIM de Poio e Pontevedra. O grupo intervención (7 mulleres) realizaron dúas sesións de exercicio á semana cunha fisioterapeuta durante 8 semanas. No grupo control (5 mulleres) realizouse o mesmo pautado de exercicio no domicilio e co soporte dunha aplicación.

O exercicio terapéutico mellora o benestar psicolóxico de mulleres vítimas de violencia de xénero. Debe valorarse incorporar o exercicio terapéutico nas estratexias para o tratamento de mulleres maltratadas.

Palabras crave

Violencia de xénero, ansiedade, depresión, terapia por exercicio, modalidades de Fisioterapia.

1. Introducción

Existen diferentes antecedentes sobre as intervencións de fisioterapia nos seguintes trastornos mentais e disfuncións psicosomáticas [1]: ansiedade, depresión, esquizofrenia, demencia, abuso de substancias, trastornos alimentarios, trastornos da personalidade, autolesións, síndrome de fatiga crónica e fibromialxia.

Os efectos da violencia nas vítimas implican consecuencias tanto físicas como psicolóxicas, onde se recomentan enfoques terapéuticos e farmacolóxicos [2], a pesar das consecuencias físicas que deixa a violencia, como as consecuencias no chan pélvico en violencia sexual, terapias físicas non foron abordadas en profundidade [3].

Aínda que a fisioterapia en saúde mental se define como “a especialidade da fisioterapia que engloba un amplo número de técnicas dirixidas directamente á mellora dos trastornos mentais” [4], o enfoque mediante o exercicio terapéutico adquiriu relevancia nos últimos anos [5].

Hai resultados positivos da realización de exercicios de resistencia e aerobios en mulleres adultas novas con trastorno de ansiedade xeneralizada: mellora da calidade de vida [6], do sono [7], mellora da gravidade clínica e síntomas asociados [8].

Segundo os últimos datos publicados polo Instituto Nacional de Estatística (INE), o número de mulleres vítimas de violencia de xénero aumentou un 3,2% en 2021, ata 30.141. A taxa de vítimas de violencia de xénero foi do 1,4 por cada 1.000 mulleres maiores de 14 anos de idade. En concreto, a última macroenquisa sobre violencia de xénero realizada en España (Delegación do Goberno contra a Violencia de Xénero, 2019) establece que máis de 6.500.000 mulleres son vítimas de violencia só a mans da súa parella ou exparella [9].

A literatura científica mostra que as mulleres sometidas a violencia de xénero sofren un deterioro da saúde mental (ansiedade, estrés e depresión) [10-11]. En concreto, un estudo realizado recentemente en Galicia observou unha elevada incidencia de estrés postraumático, depresión e baixa autoestima nas mulleres vítimas de violencia de xénero [12].

A eficacia do exercicio terapéutico na depresión [13] e na ansiedade[14] está amplamente demostrada, así como a relación entre a violencia de xénero e o deterioro da saúde mental, cun alto nivel de estrés postraumático. Non obstante, o coñecemento efecto do exercicio terapéutico nas mulleres maltratadas é moi limitado [15].

Por iso, o obxectivo deste proxecto consistiu en avaliar o efecto dun programa de exercicios terapéuticos guiado por un/unha fisioterapeuta de xeito presencial fronte ao exercicio terapéutico domiciliario realizado individualmente sobre o benestar psicolóxico das mulleres superviventes de violencia de xénero.

1.1 Metodoloxía empregada

O presente proxecto consistiu nun estudo controlado non aleatorizado que contou coa aprobación do Comité de ética da investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense del SERGAS (Código 2023/238). No estudo incluíronse mulleres maiores de idade con antecedentes de violencia de xénero que acudan ao centro de atención á muller ou incluídas nos programas do centro de atención á muller.

1.1.1 Descrición da intervención

O estudo realizouse segundo protocolos e investigacións publicadas sobre o exercicio en ansiedade e estrés [16]. Así mesmo, o exercicio executado seguiu as instrucións da Organización Mundial da Saúde (OMS) [17] e do Colexio Americano de Medicina Deportiva (ACMS) [18].

No grupo intervención (exercicio presencial) leváronse dúas sesións semanais durante 8 semanas cunha duración de 60 minutos. Estas sesións foron presenciais nos respectivos CIM e guiadas por unha fisioterapeuta. Nestas sesións realizáronse un quecemento baseado en exercicios de mobilidade xeral de aproximadamente 5 minutos, seguido dunha parte central baseada en exercicios aerobios combinados con exercicios de forza, finalmente, a sesión rematou cunha volta á calma, con exercicios xerais e exercicios de mobilidade.

No grupo control (exercicio no domicilio) executáronse dúas sesións semanais durante 8 semanas cunha duración de 60 minutos na casa cos mesmos exercicios que no grupo intervención. Proporcionáronse guías cos exercicios propostos foron explicados presencialmente. A programación e seguimento a domicilio realizouse coa aplicación *Rehbody®* para dispositivos móbiles e tabletas. Esta aplicación permitiu mostrar cada un dos exercicios durante a realización e realizar un seguimento da adherencia ó programa de exercicios.

Análise de resultados

Realizouse unha análise descritiva dos resultados. Nos dous grupos de estudo avalíouse o efecto de cada unha das intervencións con respecto á valoración inicial (previa á intervención e posterior á intervención) e comparáronse os cambios entre grupos.

Para avaliar o efecto do exercicio, nos dous grupos, sobre o benestar psicolóxico empregáronse as seguintes escalas autoadministradas: escala de Rosemberg, escala de benestar subxectivo (EBS), Inventario de Depresión de Beck (BDI-2) e a Escala de Gravidade de Síntomas del Trastorno de Estrés Postraumático (EGS-R). O efectos sobre os sistema cardiovascular avalíouse mediante o test 6 minutos marcha (WMT-6, polas súas siglas en inglés).

2. Resultados e discusión

A mostra estivo formada por 12 mulleres superviventes de violencia de xénero que acoden ós Centros de Información á Muller (CIM) de Pontevedra e de Poio e decidiron participar voluntariamente no estudo (6 pertencentes a cada CIM).

Inicialmente foron recrutadas 30 participantes nos CIM por medio das psicólogas de cada centro, das cales iniciaron o estudo 22 mulleres (Fig. 1). Finalmente a distribución nos grupos foi: 7 participantes no grupo intervención e 5 participantes no grupo control.

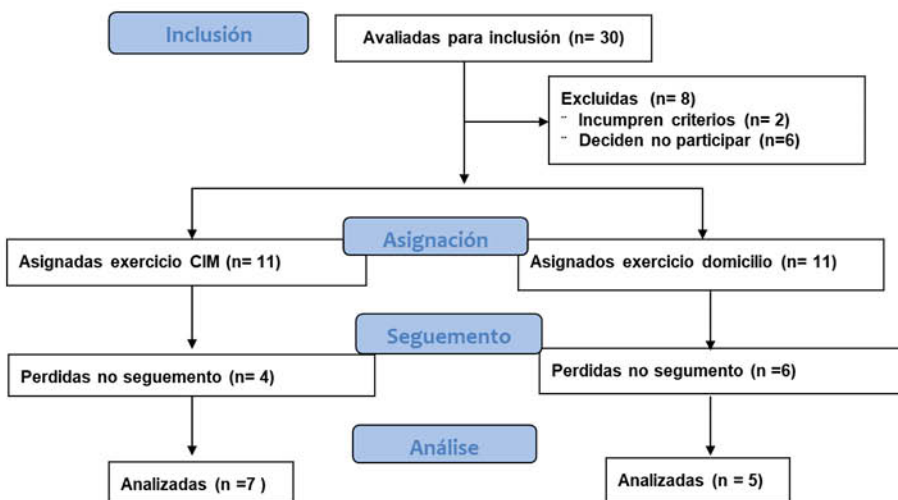


Figura 1. Diagrama de fluxo das participantes.

2.1 Autoestima

A autoestima foi avaliada mediante a escala de Rosenberg, que é un cuestionario para explorar a autoestima persoal entendida como os sentimentos de valía persoal e de respecto a si mesmo [19]. Na violencia de xénero, o ataque á autoestima da muller soe ser o primeiro ataque que victimiza á súa parella, considérase que a baixa autoestima pode ser tanto un efecto como un desencadenante da violencia de xénero [20]. Os resultados da avaliación (Fig. 2) mostran que no GE mellorou a autoestima, xa que antes da intervención un 66,7% da mostra presentaba baixa autoestima e tan só un 33,4% trala intervención. Do mesmo xeito, a alta autoestima inicial tan só estaba presente nun 16,7% da mostra e subiu a un 66,7% tras o programa de exercicios. No GC non houbo cambios na baixa autoestima, pero o 20% da mostra que presentaba alta autoestima baixou a autoestima normal. Estes resultados coinciden con investigacións previas, realizada en mozos, onde se mostra que as intervencións con exercicio físico son un método eficaz para mellorar a autoestima [21].

2.2 Benestar subjetivo

Unha das consecuencias da violencia de xénero é a diminución do benestar psicolóxico, a satisfacción coa vida e a calidade de vida [22-23]. O benestar subjetivo foi medido mediante a EBS (Fig. 3), as puntuacións obtidas mostran un maior benestar no GE xa que despois da intervención decreceu a porcentaxe de mulleres que presentaba baixo benestar (do 14,3% a 0%). Do mesmo xeito, esa mesma porcentaxe da mostra pasou a ter un benestar alto mentres que non existía ese nivel de benestar pre-intervención. Existe unha relación positiva entre o exercicio e o benestar subjetivo [24], o que confirmarían os resultados observados no presente estudo.

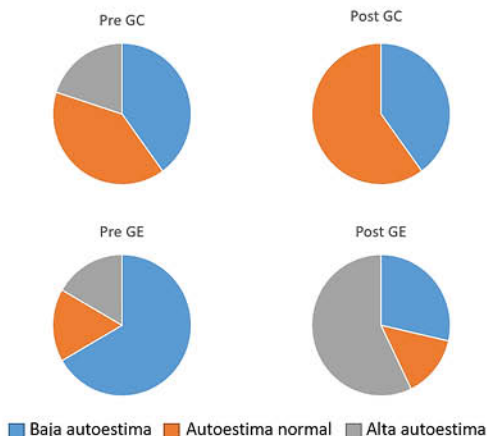


Figura 2. Resultados das puntuacións Escala de Rosenberg

2.3 Depresión

Está demostrado que as mulleres que sufriron violencia de xénero presentan diversos problemas psicolóxicos como a depresión, ansiedade e diversos trastornos da conduta [25-26]. A depresión foi avaliada a través do BDI-2 [27], os resultados mostran que a depresión grave diminuíu, pasando de estar presente no 42,9% da mostra fronte ao 28,6% trala intervención no GE; ademais, os casos de depresión mínima pasaron do 28,6% ao 71,4% (Fig. 4). No GC tamén houbo cambios nos casos de depresión mínima do 20% ao 60%, pero mantivéronse os casos de depresión grave. Estes resultados van na liña doutras investigacións onde concluíron que o exercicio é un tratamento non farmacéutico viable para a depresión e aseguran que os beneficios do exercicio poden persistir máis alá do final do tratamento, a diferencia dos medicamentos anti-depresivos [28].

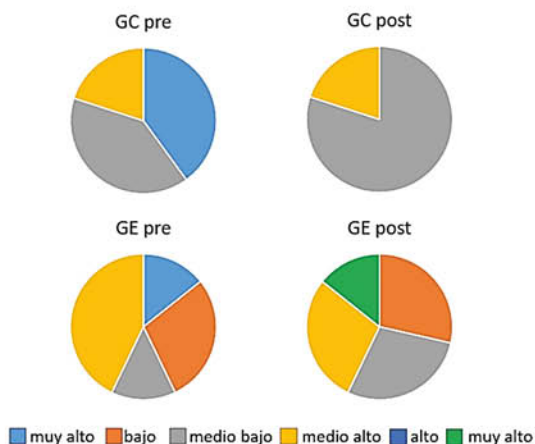


Figura 3. Resultados das puntuacións EBS

2.4 Estrés postraumático

Diversos estudos demostran que experimentar violencia física e psicolóxica dentro dunha relación contribúe de xeito significativo á probabilidade de reportar síntomas de estrés postraumático en comparación con outras formas de violencia [29]. Por outra banda, propónse que a violencia de parella ten un maior potencial para afectar á saúde mental, dado que a violencia é perpetrada por un individuo en quen a vítima confía [30]. Este feito implica que poida ser máis daniño, xa que a vítima non pode xustificar o feito do maltrato como un ataque anónimo aleatorio senón como unha intención deliberada de facer dano [31].

O estrés postraumático foi avaliado pola escala EGS-R [32]. Os resultados do presente estudo mostran que os valores de estrés postraumático foron similares en ámbolos dous grupos trala intervención, observándose unha melloría do estrés postraumático das mulleres nos dous grupos (Fig. 5). Nesta mesma liña, traballos anteriores amosaron beneficios adicionais do exercicio aero-

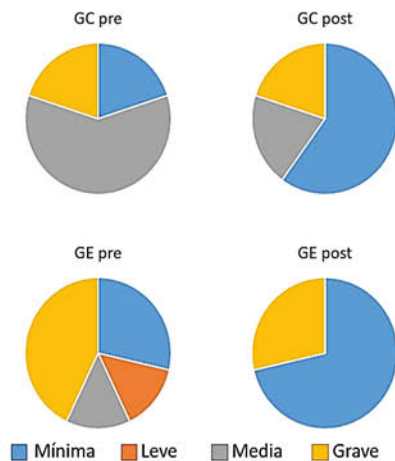


Figura 4. Resultados das puntuacións BDI-2

bio moderado para as mulleres con trastorno de estrés postraumático reducindo de xeito significativo os estados de ánimo negativos [33].

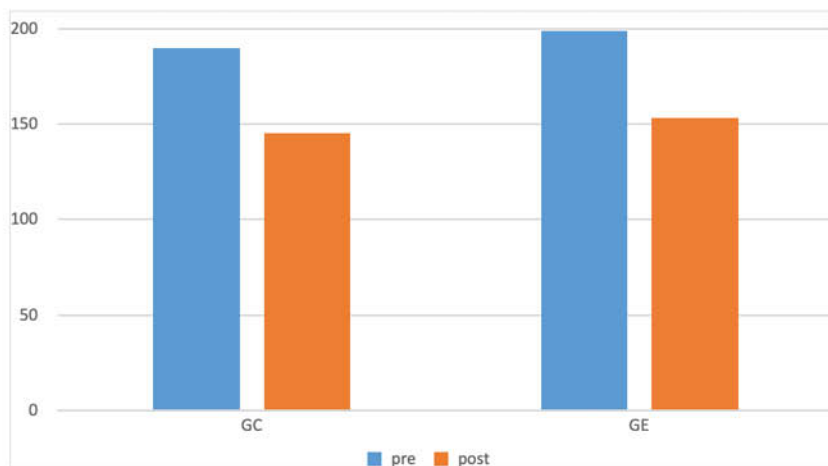


Figura 5. Resultados das puntuacións EGS-R

2.5 Test 6 minutos marcha

Este test emprégase para medir a capacidade de exercicio das pacientes. Tanto o GC como el GE obtiveron unha maior distancia percorrida durante a realización deste test tralas súas respectivas intervencións, aínda que máis pronunciado no GE, polo que se podería pensar que melloraron as súas condicións físicas (Fig. 6).

Tamén foi calculada a variabilidade entre a frecuencia cardíaca (FC) basal e final tralas intervencións. O GC obtivo unha maior variabilidade na proba realizada trala intervención en casa, o que fai sospeitar que non se realizou o exercicio dun xeito adecuado, sen embargo, a variabilidade da FC no GE mostra unha menor FC entre la condición basal e despois da proba o que podería ser debido ao adestramento.

2.6 Limitacións do estudo e futuras investigacións

Unha das principais limitacións, común á prescrición de exercicio [34], é a dificultade na adherencia ó exercicio. A interpretación dos resultados deben ter en conta que no GE existiu unha asistencia media do 83,9%, mentres que no GC a realización do exercicio foi do 43,7%. A adherencia ó exercicio é un dos principais predictores da eficacia a longo prazo de exercicio [35]. Este aspecto pode explicar a diferenza de resultados observadas entre os grupos.

Outras das limitacións do estudo é o tamaño da mostra (12 participantes), sen embargo é preciso considerar que os estudos desta índole establecen una porcentaxe da perda do 30% [36]. Igualmente, a poboación de estudo ten características moi específicas que limitan a captación da mostra. Ata onde coñecemos, este é o primeiro estudo sobre exercicio na saúde mental de mulleres superviventes de violencia de xénero.

Finalmente, resultaría interesante estudar diferentes formas de exercicio e con diferente carga de traballo de forma independente para determinar o impacto relativo de cada un deles. Ademais, precísanse estudos para determinar o efecto a longo prazo e cunha mostra maior.

3. Conclusións

O exercicio terapéutico mellora o benestar psicolóxico de mulleres vítimas de violencia de xénero. Obtivéronse mellores resultados cun programa de exercicios aplicado de forma presencial e unha adherencia maior. Sen embargo, non se pode descartar o exercicio domiciliario, pautado coa axuda de novas tecnoloxías, como alternativa nos casos no que a presencialidade no sexa posible.

Ademais do beneficios psicolóxicos, o exercicio guiado por un/unha fisioterapeuta mostrou melloras na proba de 6 minutos marcha.

En base ós resultado obtidos, dentro do equipo multidisciplinar, recoméndase que as autoridades sanitarias valoren incorporar un/unha fisioterapeuta para pautar exercicio terapéutico como parte do tratamento para mellorar a saúde mental de mulleres vítimas de violencia de xénero.

Agradecementos

O grupo de investigación agradecen a tódalas participantes neste estudo pola súa colaboración desinteresada. Ademais agrádese a colaboración das psicólogas dos CIMs: Lidia Fazanes Estévez (CIM de Poio) e Rosa Campos Briones (CIM de Pontevedra).

Tamén é preciso agradecer a Maruxa Jefferies (fisioterapeuta encargada da intervención e implicación na súa labor), ós Concellos de Poio e Pontevedra, Deputación de Pontevedra, Universidade de Vigo e ó Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IISGS).

Referencias

- Probst, M. *Physiotherapy and Mental Health*. *Clinical Physical Therapy* 2017. <https://doi.org/10.5772/67595>.
- Vallejo, A.; Córdoba, M. *Abuso Sexual : Tratamientos y Atención*. *Revista de Psicología* 2012, 30 (1), 1–28.
- Andersen, E.; Geiger, P.; Schiller, C.; Bluth, K.; Watkins, L.; Zhang, Y.; Xia, K.; Tauseef, H.; Leserman, J.; Girdler, S.; Gaylord, S. *Effects of Mindfulness-Based Stress Reduction on Experimental Pain Sensitivity and Cortisol Responses in Women With Early Life Abuse: A Randomized Controlled Trial*. *Psychosom Med* 2021, 83 (6), 515–527. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000889>.
- Catalán Matamoros, D. J. *Fisioterapia En Salud Mental: Antecedentes Históricos*. *Revista Colombiana de Rehabilitación* 2019, 18 (2), 162–180. <https://doi.org/10.30788/revcolreh.v18.n2.2019.394>.
- Ross, R. E.; VanDerwerker, C. J.; Saladin, M. E.; Gregory, C. M. *The Role of Exercise in the Treatment of Depression: Biological Underpinnings and Clinical Outcomes*. *Mol Psychiatry* 2023, 28 (1), 298–328. <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01819-w>.
- Herring, M. P.; Johnson, K. E.; O'Connor, P. J. *Exercise Training and Health-Related Quality of Life in Generalized Anxiety Disorder*. *Psychol Sport Exerc* 2016, 27, 138–141. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.08.011>.
- Herring, M.; Kline, C.; O'Connor, P. *Effects of Exercise Training On Self-Reported Sleep Among Young Women with Generalized Anxiety Disorder (GAD)*. *European Psychiatry* 2015, 30, 465. [https://doi.org/10.1016/S0924-9338\(15\)31893-9](https://doi.org/10.1016/S0924-9338(15)31893-9).
- Herring, M. P.; Jacob, M. L.; Suveg, C.; Dishman, R. K.; O'Connor, P. J. *Feasibility of Exercise Training for the Short-Term Treatment of Generalized Anxiety Disorder: A Randomized Controlled Trial*. *Psychother Psychosom* 2012, 81 (1), 21–28. <https://doi.org/10.1159/000327898>.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). Instituto Nacional de Estadística. *Estadística de Violencia Doméstica y violencia de género. Últimos Datos*. https://www.ine.es/dyns/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176866&menu=ulti-Datos&idp=1254735573206 (accessed 2024-02-08).
- Jonker, I. E.; Lako, D. A. M.; Beijersbergen, M. D.; Sijbrandij, M.; van Hemert, A. M.; Wolf, J. R. L. M. *Factors Related To Depression and Post-Traumatic Stress Disorder in Shelter-Based Abused Women*. *Violence Against Women* 2019, 25 (4), 401–420. <https://doi.org/10.1177/1077801218790700>.
- Oram, S.; Khalifeh, H.; Howard, L. M. *Violence against Women and Mental Health*. *Lancet Psychiatry* 2017, 4 (2), 159–170. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(16\)30261-9](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(16)30261-9).
- Mondolfi Miguel, M. L.; Rosa Pino-Juste, M. *Psycho-Social Profile of Battered Women in Galicia, Spain: Distress as a Result of Intimate Partner Violence and Child Abuse*. *Health Care Women Int* 2019, 40 (11), 1229–1248. <https://doi.org/10.1080/07399332.2019.1571061>.
- Bigarella, L. G.; Ballotín, V. R.; Mazurkiewicz, L. F.; Ballardín, A. C.; Rech, D. L.; Bigarella, R. L.; Selistre, L. da S. *Exercise for Depression and Depressive Symptoms in Older Adults: An Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses*. *Aging Ment Health* 2022, 26 (8), 1503–1513. <https://doi.org/10.1080/13607863.2021.1951660>.
- Chong, T. W. H.; Kootar, S.; Wilding, H.; Berriman, S.; Curran, E.; Cox, K. L.; Bahar-Fuchs, A.; Peters, R.; Anstey, K. J.; Bryant, C.; Lautenschlager, N. T. *Exercise Interventions to Reduce Anxiety in Mid-Life and Late-Life Anxiety Disorders and Subthreshold Anxiety Disorder: A Systematic Review*. *Ther Adv Psychopharmacol* 2022, 12, 204512532211049. <https://doi.org/10.1177/20451253221104958>.
- Legrand, F. D.; Crombez-Bequet, N. *Physical Exercise and Self-Esteem in Women Facing Lockdown-Related Domestic Violence*. *J Fam Violence* 2022, 37 (6), 1005–1011. <https://doi.org/10.1007/s10896-021-00308-y>.

Gordon, B. R.; McDowell, C. P.; Lyons, M.; Herring, M. P. Acute and Chronic Effects of Resistance Exercise Training among Young Adults with and without Analogue Generalized Anxiety Disorder: A Protocol for Pilot Randomized Controlled Trials. *Ment Health Phys Act* 2020, 18, 100321. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2020.100321>.

World Health Organization. Global recommendations on physical activity for health. <https://www.who.int/dietphysicalactivity/physical-activity-recommendations-18-0A-64years.pdf?ua=1>.

Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009, 41 (3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>.

Santandreu, M.; Laura, O.; De, T.; Llanos, L.; Vallejo, R. R. Violencia de Género y Autoestima: Efectividad de Una Intervención Grupal. 2014, 32 (1), 57–63.

Gonzalez-Guarda, R. M.; Vermeesch, A. L.; Florom-Smith, A. L.; McCabe, B. E.; Peragallo, N. P. Birthplace, Culture, Self-Esteem, and Intimate Partner Violence Among Community-Dwelling Hispanic Women. *Violence Against Women* 2013, 19 (1). <https://doi.org/10.1177/1077801212475336>.

Liu, M.; Wu, L.; Ming, Q. How Does Physical Activity Intervention Improve Self-Esteem and Self-Concept in Children and Adolescents? Evidence from a Meta-Analysis. *PLoS One* 2015, 10 (8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134804>.

Callahan, M. R.; Tolman, R. M.; Saunders, D. G. Adolescent Dating Violence Victimization and Psychological Well-Being. *J Adolesc Res* 2003, 18 (6). <https://doi.org/10.1177/0743558403254784>.

Coker, A. L.; McKeown, R. E.; Sanderson, M.; Davis, K. E.; Valois, R. F.; Huebner, E. S. Severe Dating Violence and Quality of Life among South Carolina High School Students. *Am J Prev Med* 2000, 19 (4). [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(00\)00227-0](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(00)00227-0).

Reyes-Molina, D.; Nazar, G.; Cigarroa, I.; Zapata-Lamana, R.; Aguilar-Farias, N.; Parra-Rizo, M. A.; Albornoz-Guerrero, J. Comportamiento de La Actividad Física Durante La Pandemia Por COVID-19 y Su Asociación Con El Bienestar Subjetivo y Salud Mental En Estudiantes Universitarios En Chile. *Terapia psicológica* 2022, 40 (1), 23–26. <https://doi.org/10.4067/s0718-48082022000100023>.

Delara, M. D. Mental Health Consequences and Risk Factors of Physical Intimate Partner Violence. *Ment Health Fam Med* 2016, 12 (01). <https://doi.org/10.25149/1756-8358.1201004>.

Stein, M. B.; Kennedy, C. M.; Twamley, E. W. Neuropsychological Function in Female Victims of Intimate Partner Violence with and without Posttraumatic Stress Disorder. *Biol Psychiatry* 2002, 52 (11). [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(02\)01414-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(02)01414-2).

Del, M.; Beltrán, C.; Freyre, M.-Á.; Hernández-Guzmán, L. The Beck Depression Inventory: Its Validity in Adolescent Population. 2012, 30, 5–13.

Gujral, S.; Aizenstein, H.; Reynolds, C. F.; Butters, M. A.; Erickson, K. I. Exercise Effects on Depression: Possible Neural Mechanisms. *General Hospital Psychiatry*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.genhosppsy.2017.04.012>.

Armour, C.; Elhai, J. D.; Richardson, D.; Ractliffe, K.; Wang, L.; Elklit, A. Assessing a Five Factor Model of PTSD: Is Dysphoric Arousal a Unique PTSD Construct Showing Differential Relationships with Anxiety and Depression? *J Anxiety Disord* 2012, 26 (2). <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2011.12.002>.

Taylor, S.; Asmundson, G. J. G.; Carleton, R. N. Simple versus Complex PTSD: A Cluster Analytic Investigation. *J Anxiety Disord* 2006, 20 (4). <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2005.04.003>.

Lagdon, S.; Armour, C.; Stringer, M. Adult Experience of Mental Health Outcomes as a Result of Intimate Partner Violence Victimization: A Systematic Review. *Eur J Psychotraumatol* 2014, 5. <https://doi.org/10.3402/ejpt.v5.24794>.

Echeburúa, E.; Amor, P. J.; Sarasua, B.; Zubizarreta, I.; Holgado-Tello, F. P.; Muñoz, J. M. Escala de Gravedad de Síntomas Revisada (EGS-R) Del Trastorno de Estrés Postraumático Según El DSM-5: Propiedades Psicométricas. *Terapia psicológica* 2016, 34 (2), 111–128. <https://doi.org/10.4067/S0718-48082016000200004>.

Crombie, K. M.; Sartin-Tarm, A.; Sellnow, K.; Ahrenholtz, R.; Lee, S.; Matalamaki, M.; Adams, T. G.; Cisler, J. M. Aerobic Exercise and Consolidation of Fear Extinction Learning among Women with Posttraumatic Stress Disorder. *Behaviour Research and Therapy* 2021, 142. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2021.103867>.

Himler, P.; Lee, G. T.; Rhon, D. I.; Young, J. L.; Cook, C. E.; Rentmeester, C. Understanding Barriers to Adherence to Home Exercise Programs in Patients with Musculoskeletal Neck Pain. *Musculoskelet Sci Pract* 2023, 63. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2023.102722>.

Winckel, A. Van De; Nawshin, T.; Byron, C. Combining a Hudl App with Telehealth to Increase Home Exercise Program Adherence in People with Chronic Diseases Experiencing Financial Distress: Randomized Controlled Trial. *JMIR Form Res* 2021, 5 (3). <https://doi.org/10.2196/22659>.

Philippot, A.; Dubois, V.; Lambrechts, K.; Grogna, D.; Robert, A.; Jonckheer, U.; Chakib, W.; Beine, A.; Bleyenheuft, Y.; Volder, A. G. De. Impact of Physical Exercise on Depression and Anxiety in Adolescent Inpatients: A Randomized Controlled Trial. *J Affect Disord* 2022, 301. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.01.011>.



IP: Aida María Díez Sarabia

Bioingeniería y Procesos Sostenibles da Universidade de Vigo (BIOSUV), 36310, España.

adiez@uvigo.gal

Remediación de efluentes tóxicos a través de procesos electroquímicos

Resumo

A presenza de contaminantes persistentes (pesticidas, fármacos, microplásticos) nas augas está a alcanzar límites preocupantes. En particular, Pontevedra é a provincia de Galicia con mais acumulación de pesticidas. É por isto que é necesario encontrar métodos eficientes para o tratamento de estes efluentes. Así, sintetizáronse materiais novidosos que podían eliminar compostos tóxicos mediante procesos de adsorción e de degradación con Procesos de Oxidación Avanzada. Así, estes procesos baseados na xeración de oxidantes por fotólise ou campo eléctrico, teñen o potencial de descontaminar ditos efluentes. Os materiais sintetizados funcionaron como caralizadores para optimizar estes procesos, fomentando a súa eficiencia e reducindo os costes asociados a súa aplicación. Entre os catalizadores utilizados están as redes estruturadas metal-orgánicas, partículas de metais nano-zero-valentes ou g-C₃N₄, cuxa sínteses foi realizada con éxito e o seu emprego en adsorción/POA optimizada en termos de variables operacionais (concentración de oxidantes, tipo de radiación, intensidade do campo eléctrico, concentración de catalizador, etc.) Así, conseguimos degradar por encima do 83 % todos os contaminantes modelo testados en menos de 2 h, mellorando resultados previos. Con esta investigación aproximámonos a aplicación futura destes procesos.

Palabras clave

Procesos de Oxidación Avanzada, catalizadores, economía circular, foto-degradación, optimización das variables

1. Introducción

O aumento exponencial da poboación está causando un incremento na xeración de efluentes contaminados, resultado das actividades industriais e individuais [1, 2]. Entre os contaminantes máis preocupantes están os pesticidas e os fármacos, que, pola súa toxicidade e estabilidade física e química, acumúlanse no medioambiente, afectando negativamente á flora e fauna [1, 3]. En Galicia, especialmente en Pontevedra, observouse un aumento significativo na variedade e cantidade de pesticidas, xunto coa detección de fármacos nas saídas de plantas residuais [4]. Así, Pontevedra é a provincia con maior distribución xeográfica de acumulación de insecticidas e fungicidas, tendo tamén un contido significativo de herbicidas [5].

Como solución, propóñense os Procesos de Oxidación Avanzada (POAE), que xeran radicais activos para atacar a materia orgánica de forma rápida e non selectiva, sendo útiles na degradación de contaminantes estables e tóxicos [6]. Dentro dos POAE inclúense procesos como i) a Oxidación Anódica, onde os contaminantes se poden reducir ou oxidar nos electrodos. Cunha correcta selección do ánodo, poden xerarse especies oxidantes como $\text{HO}\cdot$ ou $\text{O}_2\cdot^-$ [6]. ii) Fenton, que é a reacción de H_2O_2 con Fe^{2+} ou outros metais para a xeración de $\text{HO}\cdot$ [2]. Este proceso ten o inconveniente de necesitar o aporte continuo de H_2O_2 e Fe^{2+} . O acoplamento a un proceso electroquímico (proceso electro-Fenton) fai que H_2O_2 e Fe^{2+} poidan ser, respectivamente, xerados e rexenerados a partir da redución de O_2 e do Fe^{3+} (que se produce durante o proceso Fenton) [7]. O bombeo de aire utilízase como un sistema de homoxeneización que, ademais, fomenta a xeración de H_2O_2 [7]. iii) Fotocatálise onde a radiación causa en substancias foto-activas (foto-catalizadores) que os electróns (e^-) na capa de valencia ascenden á capa de condución deixando un oco (h^+) na primeira. Estes e^- e h^+ poden, respectivamente, reducir ou oxidar a materia orgánica e demais compostos como H_2O ou O_2 para xerar radicais oxidantes.

Os custos asociados a estes procesos son o inconveniente que os afasta da súa aplicación actual. Por iso, débese sintetizar catalizadores que melloren a eficiencia dos procesos, que sexan reutilizábeis, optimizar os parámetros operativos e avaliar o consumo enerxético. Este proxecto conseguiu abordar estes desafíos.

2. Resultados e discusión

2.1 Síntese de catalizadores

Có obxectivo de sintetizar catalizadores que melloren a eficacia dos POAE sintetizáronse diferentes catalizadores, nomeadamente $g\text{-C}_3\text{N}_4$, Partículas Nano Zero Valentés (NZVP) de Fe e Mn e redes estruturadas metal-orgánicas (MOFs). Estas partículas foron seleccionadas por diferentes vantaxes. Así, o $g\text{-C}_3\text{N}_4$ foi sintetizado nun so proceso de calcinación [8] e ten o gran punto positivo de ser un catalizador libre de metal. No caso das NZVP, estas son habitualmente sintetizadas pola redución de sales de metais. Esta redución lévase a cabo con NaBH_4 , que é tóxico e perigoso. Neste caso, realizouse una síntese amigable có medio ambiente, grazas a utilización de té negro como axente redutor [9]. En concreto sintetizáronse NZVP de Fe:Mn, xa que eran as partículas que mellor funcionaban na degradación do pesticida clorpirifos-metil. Finalmente, os MOFs son coñecidos como una alternativa aos catalizadores tradicionais por estaren formados por estruturas metálicas estables que permiten a súa utilización en diferentes procesos como adsorción ou fotocatalise. Así, sintetizamos os MOFs MIL-53(Al) e NH₂-MIL-125(Ti) que demostraron capacidades adsorbentes e como catalizadores para POA. A síntese satisfactoria destes catalizadores puidose confirmar con diferentes técnicas como Raman, FTIR, XPS, XRD e SEM (Fig. 1).

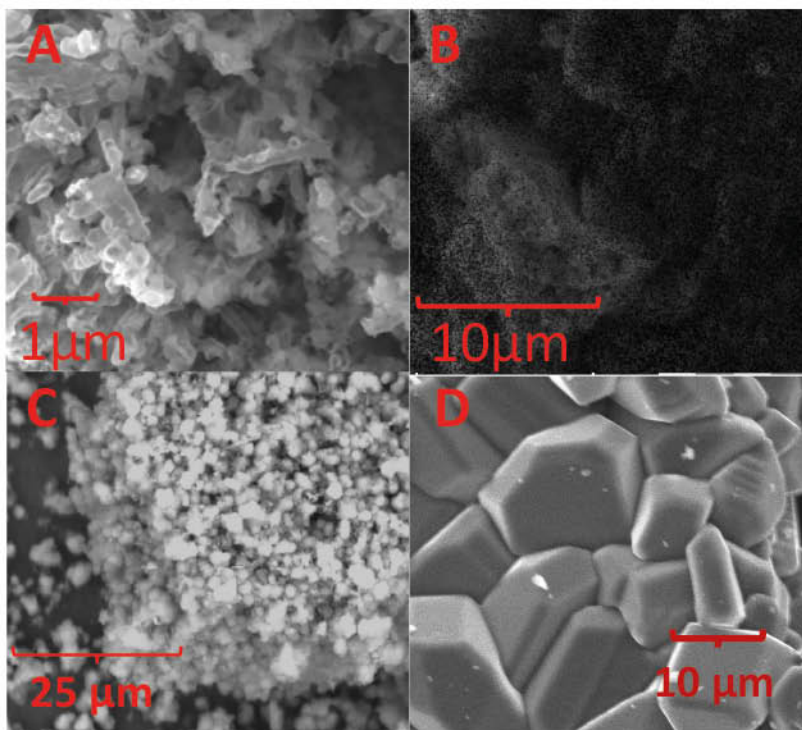


Figura 1. $g\text{-C}_3\text{N}_4$ (A), NZVP-Fe:Mn (B), MOFs MIL-53(Al) (C) e NH₂-MIL-125(Ti) (D).

2.2 Aplicación dos POAE na degradación de contaminantes

Estes catalizadores foron utilizados para a eliminación de contaminantes persistentes como pesticidas, fármacos e derivados de plásticos (bisfenol A:BPA), sendo de interese xeral e conseguido diversas publicación (sección 2.3). Alen diso, os datos de degradación destes contaminantes están resumidos na (Táboa 1). Así, os resultados obtidos melloran os datos de previos autores ben sexa en termos de degradacións máis rápidas e elevadas [10] coma no carácter máis medioambientalmente amigable, xa que evitase a utilización de outros metais contaminantes e custosos coma W [11] ou Zr [12].

Estes resultados foron obtidos tras diversos procesos de optimización en relación aos electrodos de traballo empregados (Art.2), das concentracións de oxidante e catalizador empregadas (Art. 1, 4 e 5) e das diferentes configuracións de reactor.

Có fin de aproximar os resultados obtidos á súa aplicación futura, levouse a cabo diferentes estratexias como o tratamento en modo continuo (de maneira que grandes cantidades de efluentes poden ser tratados) (Art. 5), a aplicación dos procesos de degradación optimizados no tratamento de augas residuais reais cedidas por a Estación de Augas Residuais (ETAR) de Tui, Guillarei (Art.1, 2, 3, 4 e 5) ou a reutilización dos materiais en diferentes ciclos (Art. 1, 2,3, 4 e 5).

| Ref. | Material | Contaminante | Proceso de tratamento | Degradación (%) | Tempo |
|--------|---------------------------------|---------------------|--|-----------------|--------|
| Art. 1 | NZVI-Fe:Mn | Chlorpyrifos-methyl | Fotocatalise (radiación visible) | 85 | 5 min |
| Art. 2 | g-C ₃ N ₄ | Diclorofenaco | Foto-electro-Fenton | 100 | 1 h |
| Art. 3 | NZVI-Fe | Pirimicarb | Foto-Fenton (0,08 mM H ₂ O ₂) | 96.5 | 15 min |
| Art. 4 | MIL-53(Al) | BPA | Adsorción acoplada a POA (Fenton:88 mM H ₂ O ₂) | 83.4 | 2 h |
| | | Prednisolona | | 100 | 2 h |
| Art. 5 | NH ₂ -MIL-125(Ti) | Diclorofenaco | Adsorción acoplada a POA (Fenton:14.5 mM H ₂ O ₂) | 100 | 2 h |

Táboa 1. Resultados obtidos en termos de degradación de contaminantes persistentes cos catalizadores sintetizados ao longo do proxecto da Excelentísima Deputación de Pontevedra.

Art.1 A. M. Díez*; V. C. Fernandes; M. M. Moreira; M. Pazos; M. A. Sanromán; T. Albergaria; C. Delerue-Matos. Nano-zero-valent particles synthesized with agroindustry wastes for pesticide degradation under real conditions. *Process Safety and Environmental Protection*. *Process Safety and Environmental Protection*, 176 (2023) 1089.

Art.2 A. Torres-Pinto; A. M. Díez*; C.G. Silva; J.L. Faria; M.A. Sanroman; A.M.T. Silva; M. Pazos. Photoelectrocatalytic degradation of pharmaceuticals promoted by a metal-free $g-C_3N_4$ catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 476 (2023) 146761.

Art.3 A. M. Díez*; M. M. Moreira; M. Pazos; M. A. Sanromán; T. Albergaria; C. Delerue-Matos. Pesticide abatement using environmentally friendly nano zero 1 valent particles as photo-Fenton catalyst. *Separation and Purification Technology*, 336 (2024) 126179.

Art.4 Aida M. Díez*, Juanjo García-Ocampo, Marta Pazos, M. Ángeles Sanromán, Yury V. Kolen'ko. Structured organic frameworks as endocrine disruptor adsorbents suitable for Fenton regeneration and reuse. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12 (2024) 111820.

Art. 5 Aida M. Díez*, Clara Gómez-González, Marta Pazos, M. Ángeles Sanromán. Titanium based Metal Organic Frameworks as an approach for pharmaceutical removal: adsorption performance and regeneration. Para ser enviado a revista *Science of the Total Environment*.

Conclusións

No traballo levado a cabo conseguiuase a síntese satisfactoria de NZVI-Fe:Mn, $g-C_3N_4$ e os MOFs MIL-53(Al) e NH_2 -MIL-125(Ti). Estes compostos mostraron boas capacidades para a rápida eliminación de contaminantes (pesticidas, fármacos e microplásticos) mediante procesos de adsorción e a súa posterior degradación con POAs. Así, evítase a acumulación de adsorbentes contaminados. Tras a optimización das variables operacionais, conseguiuase unha eliminación global por encima do 83 % en tódolos casos, requirindo pequenas cantidades de oxidantes. En particular, as partículas NZVP-Fe:Mn resultaron extremadamente eficientes con radiación solar, conseguindo 85% de degradación do pesticida chlorpirifos-metil en 5 minutos. A eficacia dos procesos foi validada mediante o tratamento de augas residuais reais e con a reutilización dos materiais sintetizados. As próximas investigacións estarán baseadas no escalado do sistemas de modo que estes procesos podan ser utilizados nas ETAR.

Agradecementos

A investigadora Aida M. Díez agradece á Xunta de Galicia (ED481D-2023/015) e á Deputación Provincial de Pontevedra o apoio financeiro.

Referencias

- Ebratkhahan M., M. Zarei, T. Babaei, M.G. Hosseini, M.M. Hosseini, Z. Fathipour. Efficient electrochemical removal of 5-fluorouracil pharmaceutical from wastewater by mixed metal oxides via anodic oxidation process, *Chemosphere* 296 (2022) 134007. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134007.
- Li C., Y. Mei, G. Qi, W. Xu, Y. Zhou, Y. Shen. Degradation characteristics of four major pollutants in chemical pharmaceutical wastewater by Fenton process, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9 (2021) 104564. DOI: 10.1016/j.jece.2020.104564.
- Gao Y., X. Niu, M. Wang, G. Li, T. An. An inescapable fact: Toxicity increase during photo-driven degradation of emerging contaminants in water environments, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 30 (2021) 100472. DOI: 10.1016/j.cogsc.2021.100472.
- Barreiro A., R. Cela-Dablanca, C. Nebot, L. Rodríguez-López, V. Santás-Miguel, M. Arias-Estévez, M. Fernández-Sanjurjo, A. Núñez-Delgado, E. Álvarez-Rodríguez. Occurrence of Nine Antibiotics in Different Kinds of Sewage Sludge, Soils, Corn and Grapes After Sludge Spreading, *Spanish Journal of Soil Science* 12 (2022) 1741. DOI: 10.3389/sjss.2022.10741.
- Chaves R., C. Monterroso. Agricultural Use of Pesticides in Galicia (NW Spain) During the 20th Century: Inventory of Active Substances and Their Geographic Distribution, *Spanish Journal of Soil Science* (2023).
- Ganiyu S.O., C.A. Martínez-Huitle, M.A. Oturan. Electrochemical advanced oxidation processes for wastewater treatment: Advances in formation and detection of reactive species and mechanisms, *Current Opinion in Electrochemistry* 27 (2021) 100678. DOI: 10.1016/j.coelec.2020.100678.
- Ye H., L. Yang, X. Nie, K. Liu, S. Yang, Y. Zhou, F. Dong, H. He, H. Yang. Dual-functional water splitting: Electro-fenton-like pollutants degradation from anode reaction and hydrogen fuel production from cathode reaction, *Electrochim. Acta* 394 (2021) 139122. DOI: 10.1016/j.electacta.2021.139122.
- Torres-Pinto A., A.M. Díez, C.G. Silva, J.L. Faria, M.Á. Sanromán, A.M.T. Silva, M. Pazos. Photoelectrocatalytic degradation of pharmaceuticals promoted by a metal-free gC_3N_4 catalyst, *Chem. Eng. J.* 476 (2023) 146761. DOI: 10.1016/j.cej.2023.146761.
- Díez A.M., V.C. Fernandes, M.M. Moreira, M. Pazos, M.A. Sanromán, T. Albergaria, C. Delerue-Matos. Nano-zero-valent particles synthesized with agroindustry wastes for pesticide degradation under real conditions, *Process Saf. Environ. Prot.* 176 (2023) 1089-1100. DOI: 10.1016/j.psep.2023.06.089.
- Xian G., N. Zhang, G. Zhang, Y. Zhang, Z. Zou. FeNiCeOx ternary catalyst prepared by ultrasonic impregnation method for diclofenac removal in Fenton-like system, *Water Science and Technology* 79 (2019) 1675-1684.
- E. M., S. M.B., J. P.E. Photocatalytic activity of ZnO-WO₃ for diclofenac degradation under visible light irradiation, *J. Photochem. Photobiol. A* 383 (2019) 111993. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2019.111993.
- Gao Y., J. Xia, D. Liu, R. Kang, G. Yu, S. Deng. Synthesis of mixed-linker Zr-MOFs for emerging contaminant adsorption and photodegradation under visible light, *Chem. Eng. J.* 378 (2019) 122118. DOI: 10.1016/j.cej.2019.122118.



IP: María Talavera

CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo de Novos Materiais, Departamento de Química Inorgánica, 36310 Vigo, España.

matalaveran@uvigo.gal

Autores:

Sandra Bolaño ¹,

Pedro Besada ^{2,3},

Miriam López-Álvarez ^{4,5},

CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo de Novos Materiais, Departamento de Química Inorgánica, 36310 Vigo, España.

Universidade de Vigo, Departamento de Química Orgánica, 36310 Vigo, España.

Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur, Hospital Álvaro Cunqueiro, 36213 Vigo, España.

bgs@uvigo.gal

pbes@uvigo.gal

CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo de Novos Materiais, Departamento de Física Aplicada, 36310 Vigo, España.

Galicia Sur Health Research Institute (IIS Galicia Sur), SERGAS-UVIGO, 36312 Vigo, España.

miriammsd@uvigo.gal

Desenvolvemento de entidades de grafeno con iridio coma axentes fototérmicos en fototerapia

Resumo

O aumento de casos de cancro na nosa sociedade e as limitacións dos tratamentos actuais para evitar a recurrencia e polo tanto previr o desenvolvemento da enfermidade require a procura de novos tratamentos. Un dos máis prometedores até a data é a fototerapia, a cal require o uso de axentes fototérmicos con gran conversión fototérmica, baixa citotoxicidade cara ás células sas e alta cara ás células tumorais. Este traballo desenvolve a síntese de entidades de grafeno con iridio baseadas en pireno, o estudo do seu efecto fototérmico así como estudos da citotoxicidade en células sas. Todo elo demostra a súa utilidade como axentes fototérmicos en fototerapia.

Palabras clave

Organometálico, cancro, fototerapia, iridio, pireno

1. Introducción

Entre 2018 e 2022, o cancro foi a segunda causa de morte en España tras as enfermidades do sistema circulatorio coa excepción do COVID en 2020, mentres que os tumores pasaron a liderar a lista de causas de morte en Pontevedra. [1] Isto leva á comunidade científica a buscar novos métodos de tratamento e eliminación da recorrencia, moi habitual en casos de cancro metastático.

Os métodos tradicionais para o tratamento do cancro adoita levar efectos secundarios e en moitos casos unha falta de cura completa da enfermidade. Con todo, outros tratamentos como a fotomedicina demostraron ser efectivos no cancro situado en zonas superficiais e está baixo estudo para outros tipos de cancro. A fototerapia baséase nun axente fototérmico que tras absorber enerxía dun láser, actúa como xerador de calor de forma controlada desencadeando a morte das células cancerixenas vía fotoablación. Para iso, nanomateriais de distintas estruturas producidos con metais de transición como ouro, cobre ou paladio están a ser estudados. [2] Con todo, o desenvolvemento de novos axentes fototérmicos capaces de aumentar a penetrabilidade nos tecidos ao modificar a estrutura química do axente, aumentar a solubilidade en auga e mellorar a selectividade cara ás células cancerixenas é clave para estes novos tratamentos. Todas estas propiedades foron demostradas en sistemas baseados nunha alta cantidade de dobres enlaces como o óxido de grafeno xa que absorben unha gran cantidade de enerxía ao ser expostos baixo o láser cunha lonxitude de onda específica. [3] A pesar do gran potencial do óxido de grafeno existen limitacións como a baixa solubilidade e a alta citotoxicidade, que poden ser contrarrestadas cunha maior derivatización. [4] Doutra banda, tanto o óxido de grafeno como os nanomateriais inorgánicos presentan unha alta retención no corpo tras a súa administración mentres que axentes orgánicos mostran menos toxicidade e unha máis rápida eliminación do corpo.

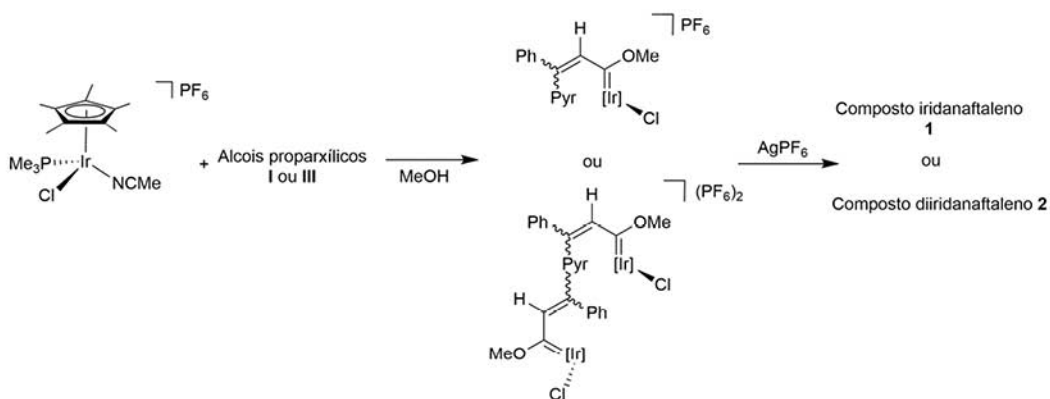
Nese senso, a obtención de sistemas orgánicos baseados en fragmentos pequenos de grafeno con presenza dun metal de transición poden combinar as vantaxes dos materiais orgánicos e inorgánicos. Este tipo de compostos, os metalaaromáticos, demostraron ter propiedades entre compostos orgánicos e organometálicos, dándolles unhas características únicas. [5] Nos últimos anos, Xia *et al.* desenvolveron materiais metalaaromáticos baseados en osmio cunha conversión fototérmica similar ás nanopartículas de ouro, unha boa estabilidade fototérmica e capacidade para xerar osíxeno reactivo reducindo a porcentaxe de recorrencia dos tumores estudados en ratos. [6-7]

Neste traballo, sintetizáronse distintos tipos de sistemas iridaaromáticos baseados en pireno utilizando a metodoloxía desenvolvida polo grupo. [8-9] Estes sistemas presentan efecto fototérmico, estabilidade fototérmica e baixa citotoxicidade fronte a células sas como os fibroblastos a concentracións controladas.

2. Discusión de resultados

A metodoloxía de síntese de sistemas iridaaromáticos desenvolvida polo grupo de investigación [8-9] baséase na elección dun alcol proparxilico apropiado que debe posuír dous substituíntes aromáticos [10]. Así, sintetizáronse dous monoalcois proparxilicos que posúen un substituínte pireno e un fenilo (I) ó un mesitilo (II) e un dialcol proparxilico compartindo o fragmento de pireno e grupos fenilo como segundo substituínte de cada alcol proparxilico (III).

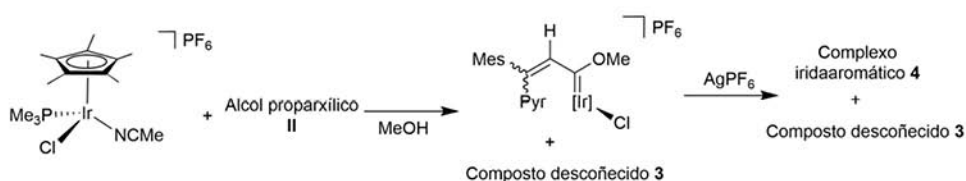
Posteriormente o complexo de partida $[\text{IrCp}^*\text{Cl}(\text{NCMe})(\text{PMe}_3)]\text{PF}_6$ [11] fíxose reaccionar cos alcois proparxilicos I e III en metanol para obter os correspondentes complexos metoxi(alquenil)carbeno. Esta familia de compostos teñe unha estabilidade media en atmosfera de aire polo que non se pode usar para aplicacións en sistemas biolóxicos. Para aumentar a estabilidade se ciclaron os sistemas metoxi(alquenil)carbeno de iridio por ortometalación para dar derivados iridanaftaleno con sustituyentes pireno, os complexos **1** e **2** (Esquema 1). Estes produtos pódense definir como pirenos substituídos con ligandos iridanaftaleno. Estes compostos poderían aparecer como unha mestura de diastereoisómeros coñecidos como atopisómeros que non se poderían separar. Esta mestura podería aparecer debido á presenza de dúas unidades quirais diferentes: o átomo de iridio (centros R, S) e o eixo axial que une o sistema iridanaftaleno co pireno (isómeros M, P). No caso de **1**, dos diastereoisómeros (R,M)/(S,P) e (R,P)/(S,M) serían posibles mentres que no caso do complexo **2**, hasta tres pares de enantiómeros poderían coexistir (R,M,R)/(S,P,S), (R,P,R)/(S,M,S) e (R,M,S)/(S,P,R) pola presenza de dous átomos de iridio quirais. Esta hipótese é baseada no comportamento observado previamente en sistemas biarilos de iridio ou complexos iridanaftaleno con ligandos espirobifluoreno [9,12].



Esquema 1. Síntese dos complexos iridanaftalenos con substituínte pireno. $[\text{Ir}] = \text{IrCp}^*\text{PMe}_3$

Por outra banda, o alcol proparxilico **II** fíxose reaccionar co complexo de partida utilizando a mesma metodoloxía que para os anteriores. En cambio, neste caso non só se obtivo o complexo metoxi(alquenil)carbano esperado, se non que se observou a formación doutro complexo descoñecido (Esquema 2). Mentres que para obter o derivado metoxi(alquenil)carbano necesítase a formación previa dun sistema alenilideno [13-14] e o posterior ataque nucleofílico do metanol, a obtención do complexo descoñecido debe ter lugar a través dun mecanismo diferente xa que non require a formación do intermedio alenilideno.

O tratamento desta mestura co sal de prata permite a activación dun enlace C–H do pireno para dar lugar a un complexo iridaaromático aínda por caracterizar estruturalmente. A mestura obtida foi usada nos estudos posteriores tras a súa purificación como proba de concepto.



Esquema 2. Reactividade do complexo acetónitrilo co alcol proparxilico **II**. [Ir] = IrCp·PMe₃.

Tras a síntese e purificación dos sistemas aromáticos **1**, **2** e a mestura de **3** e **4**, estudouse a súa capacidade de emitir calor tras ser aplicado sobre eles un láser próximo ao infravermello durante un período de tempo. Os estudos preliminares mostraron que mentres que tanto o pireno como o complexo acetónitrilo de partida non son capaces de emitir calor baixo as mesmas condicións, os complexos que combinan ambos os sistemas (pireno e iridio) poden alcanzar entre 55 e 80°C en menos de 5 min. Mentres o aumento do número de átomos de iridio no complexo **2** parece diminuír a temperatura máxima, o cambio do substituínte iridanaftaleno pola mestura de **3** e **4** permite alcanzar temperaturas máximas 10°C maiores cunha rampla de queceamento máis curta (Fig.1, esquerda).

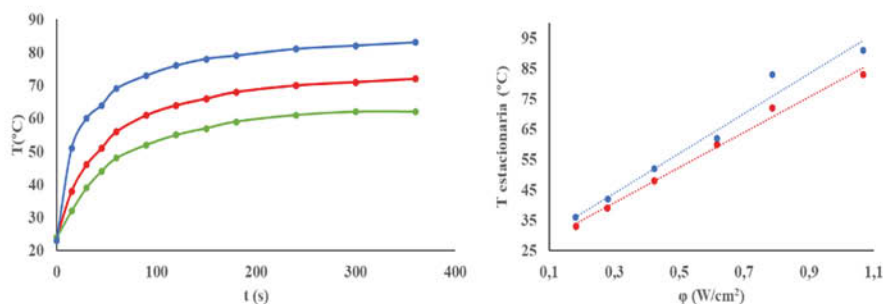


Figura 1. Esquerda: Efecto fototérmico dos complexos **1** (vermello), **2** (verde) e a mestura de **3** e **4** (azul) cun láser a 785nm a unha potencia de 0.788W/cm².

Dereita: Variación da temperatura estacionaria coa potencia aplicada do láser no complexo **1** (vermello) e a mestura de **3** e **4** (azul).

Con todo, a morte celular prodúcese normalmente en rangos de 43-50°C, polo que a obtención de temperaturas estacionarias nese rango diminuírían os posibles efectos secundarios do tratamento. Así pois, a temperatura máxima pódese controlar coa potencia, alcanzando unha temperatura estacionaria de ao redor de 45°C a uns 0.42W/cm² e 0.30W/cm² para o complexo 1 e a mestura de 3 e 4, respectivamente (Fig.1, dereita).

É importante destacar que tras expor ás mostras ao láser nos estudos previos, analizáronse por espectroscopia de RMN sen mostrar descomposición, demostrando estabilidade fototérmica, necesaria para a súa aplicabilidade.

Finalmente, realizáronse estudos preliminares de viabilidade celular das tres mostras (Fig.2). Para iso, preparáronse concentracións de 0.05, 0.1 e 0.5 mg/ml no medio DMEM suplementado con 10% de soro bovino fetal e 1% de solución antibiótica antimicótica. Estas mostras comparáronse tanto cun control negativo de citotoxicidade (100% viabilidade celular) e outro positivo (solución tóxica de fenol). Para todos os compostos, a viabilidade celular mantense ao nivel do control, medio de crecemento, para a concentración máis baixa testada e diminúe claramente ao incrementalala até 0.5 mg/ml no composto 1 (Fig.2, esquerda) e a mestura de 3 e 4 até situala en valores claramente citotóxicos (Fig.2, dereita). Este comportamento non se observa para o composto 2, para o que a viabilidade celular obtida coa concentración testada máis alta situouse no 93 ± 2 % indicando a importancia da presenza de dous centros de iridio (Fig.2, centro).

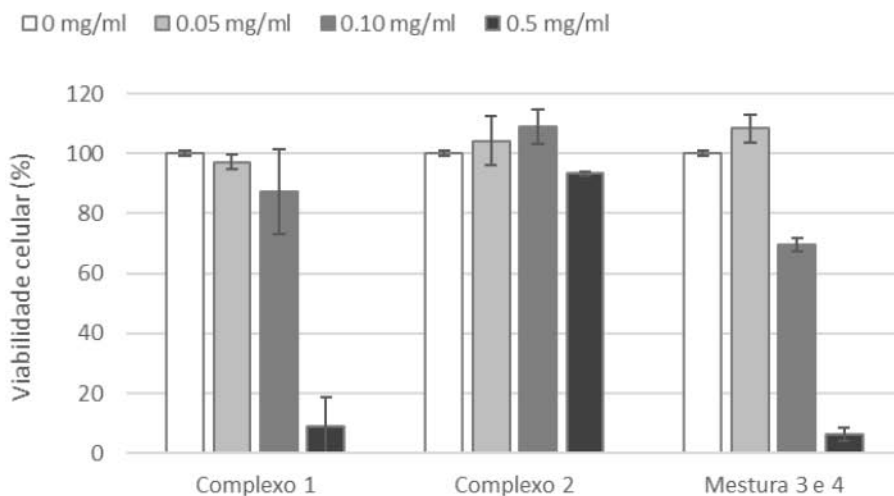


Figura 2. Viabilidade celular (en %) do fibroblastos NCTC 929 despois de 24h baixo tratamento cos complexos 1, 2 e a mestura dos complexos 3 e 4 a distintas concentracións.

3. Conclusións

Como conclusión, neste traballo sintetizáronse e caracterizáronse distintos tipos de sistemas iridaaromáticos baseados en pireno observando un mecanismo de reacción dos alcois proparxílicos diferente aínda por resolver. Estes sistemas, ao contrario que os seus precursores orgánicos e organometálicos, presentan efecto fototérmico podendo controlar a temperatura alcanzada coa potencia do láser NIR utilizado. Ademais, posúen estabilidade fototérmica que permitiría o seu uso durante varios ciclos de tratamento. Finalmente, os estudos preliminares de citotoxicidade en células sas mostran a potencial capacidade destes sistemas cara ao seu uso en estudos *in vivo*, e a modulación das concentracións de mostra así como a potencia do láser permite un maior control da hipertermia.

4. Agradecementos

Os autores agradecen á Deputación de Pontevedra pola axuda INPO23. Tamén agradecen ao C.A.C.T.I. polas medidas dos espectros de masas e a dispoñibilidade dos espectrómetros de RMN e ao proxecto 0072_IBEROS_MAIS_1_E e GRC Xunta (ED431C 2021/49). M.T. agradece ao Goberno de España e o fondo NextGenerationEU/PRTR polo contrato María Zambrano.

Referencias

- Defunciones según la causa de la muerte. Instituto Nacional de Estadística www.ine.es (accedido febrero 2024).
- Melo-Diogo, D.; Pais-Silva, C.; Dias, D. R.; Moreira, A. F.; Correia, I. J. Strategies to improve cancer photothermal therapy mediated by nanomaterials. *Adv. Healthcare Mater.* **2017**, *6* (10) 1700073. DOI: 10.1002/adhm.201700073.
- Bhatt, H. N.; Pena-Zacarias, J.; Beaven, E.; Zahid, M. I.; Ahmad, S. S.; Diwan, R. Nurunnabi, M. Potential and Progress of 2D Materials in Photomedicine for Cancer Treatment. *ACS Appl. Bio Mater.* **2023**, *6* (2), 365-383. DOI: 10.1021/acsabm.2c00981
- Zhao, L.; Duan, G.; Yang, Z.; Weber, J. K.; Liu, X.; Lu, S.; Meng, X.; Xu, J. Particle Size-Dependent Antibacterial Activity and Murine Cell Cytotoxicity Induced by Graphene Oxide Nanomaterials. *J. Nanomater.* **2016**, 2016, 6709764. DOI: 10.1155/2016/6709764.
- Chen, D.; Hua, Y.; Xia, H. Metallaaromatic Chemistry: History and Development. *Chem Rev.* **2020**, *120* (23), 12994-13086. DOI: 10.1021/acs.chemrev.0c00392.
- Yang, C.; Lin, G.; Zhu, C.; Pang, X.; Zhang, Y.; Wang, X.; Li, X.; Wang, B.; Xia, H.; Liu, G. Metallaaromatic loaded Magnetic Nanoparticles for MRI/Photoacoustic Imaging-guided Cancer Phototherapy. *J. Mater. Chem. B*, **2018**, *6*, 2528-2535. DOI: 10.1039/C7TB02145C.
- Zhu, C.; Yang, C.; Wang, Y.; Lin, G.; Yang, Y.; Wang, X.; Zhu, J.; Chen, X.; Liu, G.; Xia, H. CCCC Pentadentate Chelates with Planar Möbius Aromaticity and Unique Properties. *Sci. Adv.* **2016**, *2* (8), e1601031. DOI: 10.1126/sciadv.1601031.
- Talavera, M.; Bolaño, S. Irida aromatics via Methoxy(alkenyl)carbeneiridium Complexes. *Molecules* **2021**, *26*, 4655 y sus referencias. DOI: 10.3390/molecules26154655.
- Talavera, M.; Pereira-Cameselle, R.; Peña-Gallego, A.; Prieto, I.; Vázquez-Carballo, I.; Alonso-Gómez, J.L.; Bolaño, S. Optical and electrochemical properties of spirofluorene iridanaphthalene complexes. *Dalton Trans.* **2023**, *52*, 487-493. DOI: 10.1039/D2DT03465D.
- Talavera, M.; Peña-Gallego, A.; Cid-Seara, K. M.; Bolaño, S. Key factors in the synthesis of polycyclic irida aromatics: via the methoxyalkenylcarbene pathway. *Dalton Trans.* **2021**, *50*, 11216-11220. DOI: 10.1039/D1DT01361K.
- Talavera, M.; Bolaño, S.; Bravo, J.; Castro, J.; García-Fontán, S.; Hermida-Ramón, J. M. Formation of indanone from an iridanaphthalene complex. *Organometallics* **2013**, *32* (15), 4058-4060. DOI: 10.1021/om400702b.
- Talavera, M.; Alonso-Gómez, J.L.; Peña-Gallego, A.; Bolaño, S. Metallaaromatic biaryl atropisomers. *Chem. Commun.* **2018**, *54*, 10974-10976. DOI: 10.1039/C8CC06443A.
- Talavera, M.; Bolaño, S.; Bravo, J.; Castro, J.; García-Fontán, S.; Hermida-Ramón, J. M. Nucleophilic attack in methoxycarbenes: Heterolytic cleavage of the carbon (sp³)-oxygen bond versus aminolysis. *Organometallics* **2013**, *32* (15), 4402-4408. DOI: 10.1021/om400565c.
- Selegue, J. P. Synthesis and Structure of [Ru(C₃Ph₂)(PMe₃)₂(Cp)][PF₆], a Cationic Diphenylallynylidene Complex. *Organometallics* **1982**, *1* (1), 217-218. DOI: 10.1021/om00061a038.



IP: Alejandra Alonso Calvete

Facultade de Fisioterapia de Pontevedra, Universidade de Vigo, Campus A Xunqueira, s/n CP. 36005, Pontevedra.

alejalonso@uvigo.es

IP: Martín Otero Agra

Escola de Enfermería de Pontevedra, Universidade de Vigo; Joaquín Costa, 41, 36004, Pontevedra.

marotero@uvigo.es

Autores:

**María Fernández Méndez,
Felipe Fernández Méndez,
Claudia González López**

Escola de Enfermería de Pontevedra, Universidade de Vigo; Joaquín Costa, 41, 36004, Pontevedra.

maria.jose.fernandez.mendez@uvigo.es

felipefernandez@uvigo.es

claudia.eu.enfermeria@gmail.com

Novas estratexias de simulación adaptada na formación de Soporte Vital Básico nas escolas

Resumo

Este proxecto ten como obxectivo ensinar contidos e habilidades de soporte vital básico a escolares de educación infantil e primaria de centros públicos da provincia de Pontevedra utilizando materiais didácticos adaptados. Para iso avaliáronse o uso de distintos materiais adaptados para a formación na chamada de emerxencia, no atragantamento e na desfibrilación. A través deste proxecto conseguiuase formar a un total de 1.187 nenos e nenas da Provincia de Pontevedra. Os resultados obtidos dos diferentes estudos sinalan que pódense realizar formacións adaptadas e eficientes na chamada de emerxencia e na desfibrilación. Tamén suxiren que con simuladores de alta gama pódense facer formacións de alta eficacia no atragantamento.

Palabras clave

Chamada de emerxencia, atragantamento, desfibrilación, primeiros auxilios, escolas

1. Introducción

En torno a entre 67 e 170 persoas por cada 100.000 habitantes en Europa falecen por causa dunha parada cardíaca. Do mesmo xeito, tamén hai moitos casos de falecementos debido a atragantamentos e outras emerxencias. [1,2] Existe un consenso dentro da bibliografía en torno a que a actuación de testemuñas en situacións de emerxencias é o principal factor que inflúe na supervivencia das vítimas. [3] A través de actuacións de primeiros auxilios, as mortes poden chegar a ser evitables e, en xeral, identifícanse as actuacións temperás como o factor principal nas diferenzas entre taxas de éxito entre países. [1]

O Consello Europeo de Resucitación (en inglés European Resuscitation Council – ERC) avoga pola estratexia formativa a gran escala para poder mellorar as actuacións das testemuñas. [4] Existe o consenso de que unha persoa con formación en primeiros auxilios non só realizaría as actuacións con mellor calidade que unha persoa sen formación, senón que tamén terá unha mellor predisposición para actuar. [4] É por iso que, nos últimos anos, a ERC está a traballar en recadar evidencias científicas en torno á formación en primeiros auxilios nas escolas a través do seu estamento Kids Save Lives. [5]

O estamento Kids Save Lives está a traballar co obxectivo de coñecer as mellores formas para ensinar Soporte Vital Básico (SVB) nas escolas, promover as evidencias que poidan ir xurdindo para, finalmente, expandir a formación de SVB polas escolas de todo o mundo. Nos seus numerosos estudos e publicacións, achegan novas evidencias, propoñen recomendacións e consensos, suxiren liñas de investigación, etc. [6-9]

Sen embargo, existe moita atención cara a parada cardíaca e a expansión da Reanimación Cardiopulmonar (RCP). A maioría das novas evidencias van ligadas cara estudos de RCP. Existen poucas evidencias que teñan por obxecto de estudo mellorar a eficacia e a eficiencia da formación doutros aspectos externos á RCP (os pasos previos ao comezo da RCP, os pasos posteriores ou continuadores da RCP, actuación ante atragantamentos, que facer cando non é preciso a RCP, etc.). [6]

É preciso que nos próximos anos xurdan evidencias sobre diferentes estratexias para formar non só na RCP, senón no resto de contidos de primeiros auxilios. Para iso, debe traballarse buscando estratexias adaptadas a características psicoevolutivas do alumnado. Non se pode formar aos rapaces como se forma aos adultos. [10] Do mesmo xeito, non se pode formar ao alumnado máis cativo igual ca o alumnado máis veterano. [11] É necesario que se adapten os contidos que deben tratarse segundo o desenrolo do alumnado, do mesmo xeito que deben adaptarse as metodoloxías utilizadas e tamén as ferramentas formativas coas que traballarán os nenos e as nenas.

Ademais, é necesario sinala que as estratexias formativas nos colexios non só deben ser eficaces, senón que tamén deben ser eficientes e viables para levar a cabo nas escolas. A realidade en España en relación á formación de primeiros auxilios nas escolas é bastante mellorable. Debe traballarse en recadar eviden-

cias para formar da mellor maneira posible ao alumnado, en achegarse a estratexias que sexan eficientes e en promover que os centros educativos podan impartir os contidos de forma real e continuada.

1.1 Obxectivos

O obxectivo xeral do proxecto foi ensinar contidos e habilidades de SVB a escolares de educación infantil e primaria de centros públicos da provincia de Pontevedra utilizando materiais didácticos adaptados.

Como obxectivos específicos, atopamos, segundo as habilidades a valorar os seguintes: a) avaliar o uso dun material de simulación de baixo custo (teléfono móbil plastificado) como estratexia de formación adaptada para a ensinanza de contidos e habilidades na chamada de emerxencia; b) avaliar o uso dun material didáctico de simulación como estratexia de formación adaptada para a ensinanza de contidos e habilidades en atragantamento; c) avaliar o uso dun material didáctico de simulación de baixo custo (desfibrilador semiautomático con materiais reciclables) como estratexia de formación adaptada para a ensinanza de contidos e habilidades na desfibrilación.

2. Discusión dos resultados

2.2 Contidos e habilidades na chamada de emerxencia

Os resultados dos contidos e habilidades na chamada de emerxencia móstranse na Figura 1. Trala aplicación dos criterios de inclusión e exclusión para o análise dos datos, analizáronse os datos dos contidos e habilidades na chamada de emerxencia a un total de 766 nenos e nenas. 427 participantes formaron parte do grupo control (GC) (recibiron formación cun manequín de RCP e un móbil real) e 339 participantes formaron parte do grupo experimental (GE) (recibiron formación cun peluche e un móbil plastificado). Non se atoparon diferenzas entre grupos nas habilidades para buscar o móbil (GC: 84% vs GE: 87%; $p = 0,25$), para pulsar o botón de desbloqueo (GC: 83% vs GE: 84%; $p = 0,77$) e para marcar o 112 (GC: 91% vs GE: 91%; $p = 0,13$). Atopáronse resultados significativamente superiores no GE nas habilidades para accionar o altavoz (80%) en comparación co GC (54%; $p < 0,001$).

Existen na bibliografía existente poucas evidencias que traten especificamente as habilidades relativas a realizar una chamada nunha situación de emerxencia. A maioría dos estudos que avalían contidos relativos á chamada de emerxencia céntranse en tomar a decisión realizar dita chamada e coñecer o número dos servizos de emerxencias. [12-14] Nas variables estudadas neste estudo que se identifican con estes contidos, non se observaron diferenzas entre os grupos de estudo. Ámbolos grupos reflexan porcentaxes de realización similares e de gran eficacia (en torno ao 80-90%). Ditas porcentaxes son superiores ou, a lo menos, similares, ás porcentaxes mostradas en outros estudos que avalían a decisión de facer unha chamada aos servizos de emerxencias e o coñecemento do número (en torno ao 70%). [12-14].

Uso do teléfono móbil en caso de emerxencia

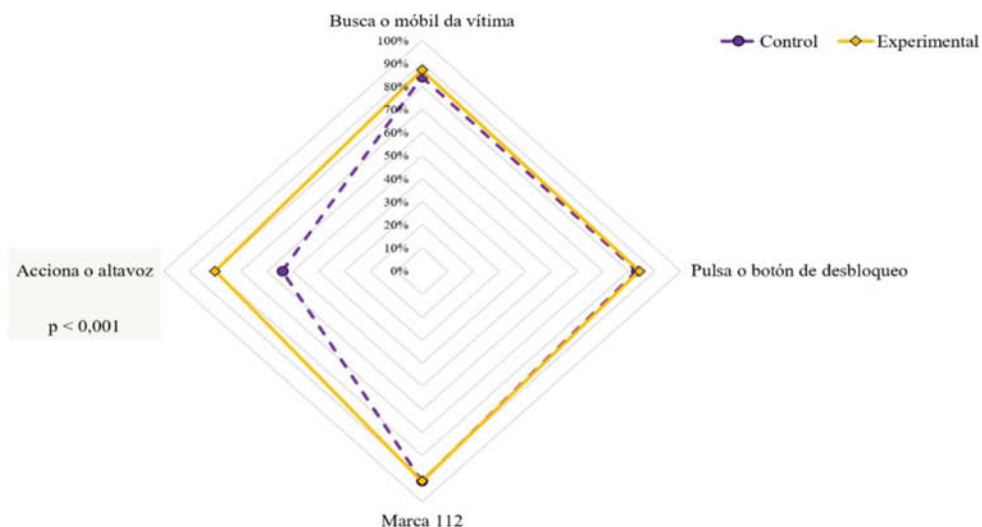


Figura 1. Resultados do uso do teléfono móbil

Por outro lado, unha das principais aportacións deste estudo é a de avaliar con detalle a realización da chamada utilizando un teléfono móbil de simulación. Desta forma, púidose valorar a capacidade do alumnado para desbloquear un teléfono móbil dun descoñecido e para activar o altavoz ao realizar a chamada de emerxencia. En relación a este último ítem, activar o altavoz durante unha chamada de emerxencia trátase dunha recomendación das guías da ERC co obxectivo de poder deixar as mans libres para poder recoñecer a situación da vítima e realizar as técnicas necesarias. [15] Nesta variable, o uso do teléfono móbil plastificado como ferramenta de simulación demostrou ser máis eficaz que unha demostración cun teléfono móbil real para a adquisición de habilidades para realizar este paso nunha situación de emerxencia. Tratándose o móbil plastificado dunha ferramenta de simulación de baixo custo, adaptada ás características do alumnado máis cativo (materiais xentís, baseado na manipulación dixital, etc.) e que, ademais presentou resultados superiores nunha variable sinalada como importante polas recomendacións vixentes, poderíamos dicir que dita estratexia formativa é eficiente para a ensinanza da chamada de emerxencia.

2.2 Contidos e habilidades en atragantamento

Os resultados dos contidos e habilidades en atragantamento móstranse na Figura 2. Trala aplicación dos criterios de inclusión e exclusión para o análise dos datos, analizáronse os datos dos contidos e habilidades en atragantamento a un total de 216 nenos e nenas. 114 participantes formaron parte do grupo control (GC) (recibiron formación sen ferramentas didácticas de simulación) e 102 participantes formaron parte do grupo experimental (GE) (recibiron formación cun chaleco de simulación). Neste caso, a simulación parte dunha situación na que o atragantamento é parcial e a actuación recomendada nesta primeira situación é a de animar a túsir. Nesta primeira situación, non se observaron diferenzas entre grupos (GC: 85% vs GE: 88%; $p = 0,50$). Despois desa primeira situación, a vítima pasa a sufrir un atragantamento completo. Entre a segunda e a quinta situación, recoméndase facer de forma cíclica o seguinte: 5 golpes interescapulares + 5 compresións abdominais + 5 golpes interescapulares + 5 compresións abdominais. Nestas situacións, observáronse resultados significativamente superiores no GE en comparación co GC: Situación 2 (GC: 87% vs GE: 95%; $p = 0,037$), situación 3 (GC: 83% vs GE: 95%; $p = 0,006$), situación 4 (GC: 77% vs GE: 92%; $p = 0,003$), situación 5 (GC: 74% vs GE: 91%; $p = 0,001$). Na última situación, cando a vítima con obstrución completo perde a consciencia, a recomendación sería chamar ao 112 e facer RCP. Nesta situación 6, non se observaron diferenzas significativas entre grupos (GC: 48% vs GE: 59%; $p = 0,12$).

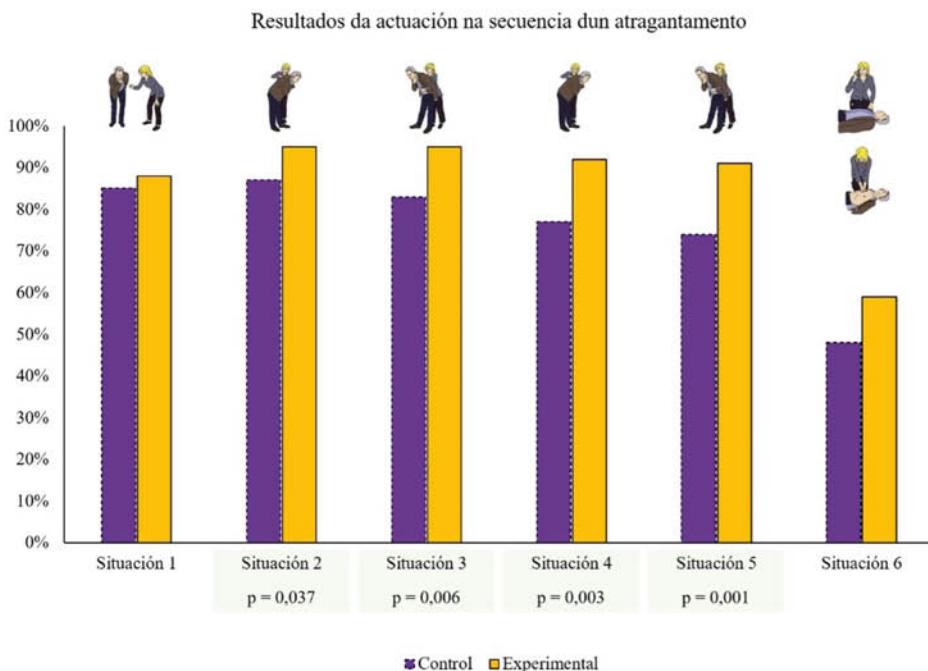


Figura 2: Resultados da secuencia de actuación ante atragantamento

En relación as habilidades e contidos de atragantamento, este proxecto é un dos poucos que tratan este obxecto de estudo en escolares. A maioría dos estudos que tratan este tema utilizan estratexias de simulación sen usar ferramentas docentes de simulación. As porcentaxes de efectividade obtidas nestes estudos é similar ás porcentaxes reflexadas polo grupo control neste proxecto. [16-18] Sen embargo, o grupo experimental deste proxecto, que realizou a simulación con ferramentas docentes específicas, obtivo resultados significativamente superiores ao grupo control. É destacable a alta eficacia do grupo experimental para continuar facendo manobras de desobstrución nas situacións 4 e 5, ítems nos que noutros estudos evidenciouse unha maior dificultade para a súa retención. [16]

En relación ao uso dun chaleco simulación de alta gama para impartir formación ante atragantamentos ao alumnado escolar, a estratexia demostrou ser máis eficaz que a non utilización de materiais de simulación. Sen embargo, o custo destes chalecos é alto, facendo moi difícil o seu uso por parte dos centros, mentres que a formación levada a cabo polo grupo control non tería custo de ningún material. É, polo tanto, necesario sinalar que, aínda que o uso de chalecos é máis eficaz para a aprendizaxe dos contidos e habilidades de atragantamento, non é unha estratexia moi eficiente polo alto custo que tería para os centros interesados en impartir formación ao seu alumnado.

2.3 Contidos e habilidades na desfibrilación

Os resultados dos contidos e habilidades na desfibrilación móstranse na Figura 3. Trala aplicación dos criterios de inclusión e exclusión para o análise dos datos, analizáronse os datos dos contidos e habilidades na desfibrilación a un total de 430 nenos e nenas. 181 participantes formaron parte do grupo control (GC) (recibiron formación demostrativa cun desfibrilador de simulación de alta gama) e 249 participantes formaron parte do grupo experimental (GE) (recibiron formación de simulación con desfibrilador de baixo custo). Non se observaron diferenzas significativas nas habilidades para acender o desfibrilador (GC: 97% vs GE: 97%; $p = 0,79$), para conectar o cable (GC: 98% vs GE: 94%; $p = 0,08$), para dar una descarga de forma correcta (GC: 95% vs GE: 94%; $p = 0,83$) nin para dar una descarga de forma segura (GC: 92% vs GE: 93%; $p = 0,84$). Si observáronse resultados significativamente superiores no GC na habilidade para colocar os eléctrodos na posición correcta que o GE (GC: 81% vs GE: 63%; $p < 0,001$) e na habilidade de non interferir na análise do ritmo (GC: 96% vs GE: 91%; $p = 0,043$).

En relación á aprendizaxe de contidos e habilidades na desfibrilación, tamén é necesario indicar que existen poucas evidencias ao respecto en alumnado en idade escolar. Algunhas desas evidencias céntranse en avaliacións baseadas en enquisas. [19,20] Ao comparar os resultados deste proxecto con outros estudos que avalían as habilidades a través de escenarios de simulación, observouse que os resultados obtidos neste proxecto acadaron porcentaxes de éxito superiores aos descritos. [21] En concreto, ámbolos grupos demostraron ter porcentaxes de éxito moi altos na maioría das variables, con porcentaxes en torno ao 90%. É necesario destacar as dificultades observadas na colocación dos eléctrodos na posición correcta polo grupo experimental, o que incide na necesidade de

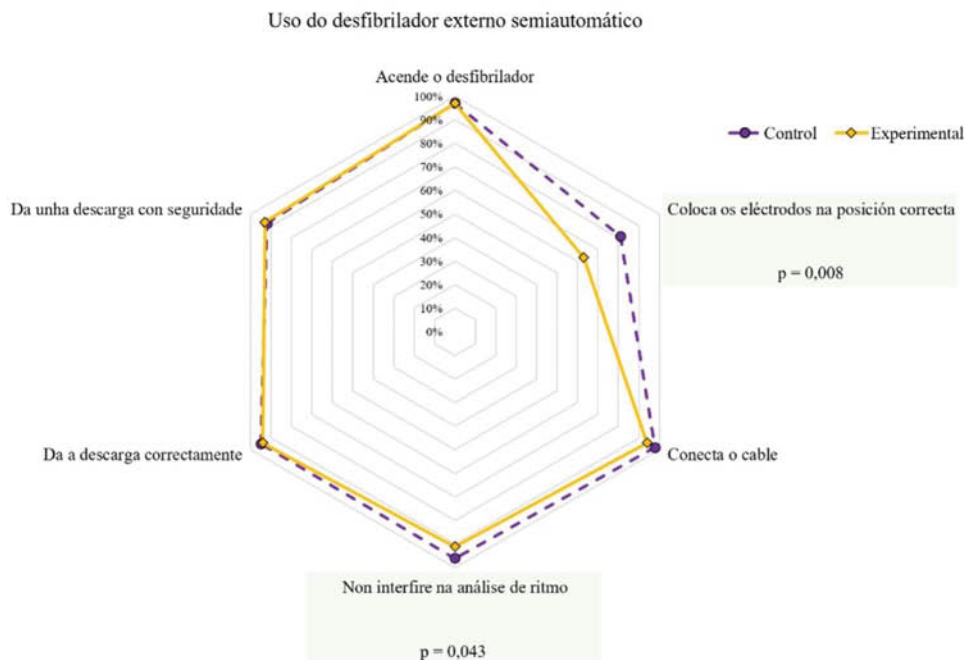


Figura 3. Resultados do uso de desfibrilador externo semiautomático

mellorar a ferramenta formativa de baixo custo utilizada no proxecto por parte de dito grupo.

Sen embargo, os resultados observados no grupo experimental son esperanzadores. O desfibrilador de baixo custo demostrou ser unha ferramenta eficaz para o aprendizaxe do uso dun desfibrilador. Ademais, demostrou ser una ferramenta que, debido á facilidade e accesibilidade para poder contar cun maior número de unidades, permitiu facer unha estratexia formativa na que tódolos participantes puideron participar nunha simulación manipulativa con materiais xentís e adaptados. Polo tanto, a pesar de obter resultados menos eficaces nalgún ítem, o uso dun desfibrilador de simulación de baixo custo demostrou ser unha estratexia formativa moi eficiente e, ademais, con marxe de mellora nos ítems nos que presentou máis limitacións.

3. Conclusións

Este proxecto conseguiu impartir formación en primeiros auxilios a un total de 1.187 nenos e nenas da provincia de Pontevedra, contando con representación de alumnado de 6 das 10 comarcas nas que se organiza a provincia. Esta é a aportación máis importante deste proxecto, xa que ten unha implicación a nivel social de transferencia á comunidade, independentemente das comparacións realizadas entre diferentes metodoloxías e ferramentas formativas.

En relación á ensinanza de contidos e habilidades na chamada de emerxencia, demostrouse que un programa de formación baseado en ferramentas de baixo custo (a través de peluches e un teléfono móbil plastificado) é máis eficiente e pode chegar a ser máis eficaz que un programa baseado en ferramentas de alta gama (a través de manequíns e teléfono móbil real).

En relación á ensinanza de contidos e habilidades no atragantamento, demostrouse que un programa de formación baseado en ferramentas de simulación de alta gama (chalecos para simular as actuacións en atragantamento) é máis eficaz que un programa baseado en simulación sen ferramentas didácticas.

En relación á ensinanza de contidos e habilidades na desfibrilación, demostrouse que un programa de formación baseado en ferramentas de simulación de baixo custo (desfibrilador de baixo custo feito con materiais reciclables e funxibles) é máis eficiente que un programa baseado na demostración con ferramentas de simulación de alta gama (desfibrilador de formación).

A través deste proxecto, pódense valorar diferentes estratexias e ferramentas formativas para que a formación en primeiros auxilios nas escolas poidan ser adaptadas a diferentes criterios segundo as necesidades (características psicoevolutivas do alumnado, estratexia metodolóxica, recursos económicos dispoñibles, tempo dispoñible, etc.).

4. Agradecementos

É necesario agradecer a persoas que colaboraron desinteresadamente no proxecto, participando activamente na formación e na avaliación do alumnado. Este proxecto non sería unha realidade sen a súa axuda.

Sheila Vázquez Álvarez; Luis Castro Alonso; Adriana Seijas Vijande; Myriam Santos Folgar

Santiago Martínez Isasi; Silvia Aranda García; Carmen Campos Lesta; Sofía Abreu Amor; María García Martínez, Soraya Valverde Costas, Ángela Lavandeira Sánchez, Ángela Pérez Maquieira, Cristina Márquez Riveras, Cristina Barral Sola, Lien Antonia Ramírez Castaño, Macarena Omil Mora, Vanesa Olga Grandal Barreiro, Gemma Oubiña Fernández, Clara Otero Dopazo, Laura Betanzos Núñez.

Referencias

- Gräsner, J.-T.; Herlitz, J.; Tjelmeland, I. B. M.; Wnent, J.; Masterson, S.; Lilja, G.; Bein, B.; Böttiger, B. W.; Rosell-Ortiz, F.; Nolan, J. P.; Bossaert, L.; Perkins, G. D. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Epidemiology of Cardiac Arrest in Europe. *Resuscitation* 2021, 161, 61–79. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.007>.
- Pavitt, M. J.; Nevett, J.; Swanton, L. L.; Hind, M. D.; Polkey, M. I.; Green, M.; Hopkinson, N. S. London Ambulance Source Data on Choking Incidence for the Calendar Year 2016: An Observational Study. *BMJ Open Respir. Res.* 2017, 4 (1), e000215. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2017-000215>.
- Wingen, S.; Jeck, J.; Schroeder, D. C.; Wingen-Heimann, S. M.; Drost, R. M. W. A.; Böttiger, B. W. Facilitators and Barriers for the Implementation of Resuscitation Training Programmes for Schoolchildren: A Systematic Review. *Eur. J. Anaesthesiol.* 2022, 39 (8), 711–719. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000001643>.
- Semeraro, F.; Greif, R.; Böttiger, B. W.; Burkart, R.; Cimpoesu, D.; Georgiou, M.; Yeung, J.; Lippert, F.; S Lockey, A.; Olasveengen, T. M.; Ristagno, G.; Schlieber, J.; Schnaubelt, S.; Scapigliati, A.; G Monsieurs, K. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Systems Saving Lives. *Resuscitation* 2021, 161, 80–97. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.008>.
- Böttiger, B. W.; Lockey, A.; Georgiou, M.; Greif, R.; Monsieurs, K. G.; Mpotos, N.; Nikolaou, N.; Nolan, J.; Perkins, G.; Semeraro, F.; Wingen, S. KIDS SAVE LIVES: ERC Position Statement on Schoolteachers' Education and Qualification in Resuscitation. *Resuscitation* 2020, 151, 87–90. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.021>.
- Schroeder, D. C.; Semeraro, F.; Greif, R.; Bray, J.; Morley, P.; Parr, M.; Kondo Nakagawa, N.; Iwami, T.; Finke, S.-R.; Malta Hansen, C.; Lockey, A.; Del Rios, M.; Bhanji, F.; Sasson, C.; Schexnayder, S. M.; Scquizzato, T.; Wetsch, W. A.; Böttiger, B. W.; International Liaison Committee on Resuscitation. KIDS SAVE LIVES: Basic Life Support Education for Schoolchildren: A Narrative Review and Scientific Statement from the International Liaison Committee on Resuscitation. *Resuscitation* 2023, 188 (109772), 109772. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109772>.
- Bánfai, B.; Bánfai-Csonka, H.; Musch, J.; Deutsch, K.; Betlehem, J. KIDS SAVE LIVES in Hungary (KSLH): Overview of the Last Two Years-How Does It Work and How Could It Be Better with Children and Teachers *Resuscitation* 2021, 159, 126–128. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.12.021>.
- Semeraro, F.; Ristagno, G.; Greif, R.; Lockey, A.; Monsieurs, K. G.; Nolan, J. P.; Olasveengen, T. M.; Perkins, G. D.; Scapigliati, A.; Böttiger, B. W. Renewed KIDS SAVE LIVES Campaign to Further Increase Awareness and Fight Sudden Cardiac Death in the Era of COVID-19. *Resuscitation* 2020, 153, 183–184. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.06.018>.
- Semeraro, F.; Wingen, S.; Schroeder, D. C.; Ecker, H.; Scapigliati, A.; Ristagno, G.; Böttiger, B. W. KIDS SAVE LIVES implementation in Europe: A survey through the ERC Research NET. *Resuscitation* 2016, 107, e7–e9. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.08.014>.
- Baldi, E.; Bertaia, D.; Contri, E. School Children Learn BLS Better and in Less Time than Adults. *Resuscitation* 2015, 88, e15–6. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.12.034>.
- Varela-Casal, C.; Abelairas-Gómez, C.; Otero-Agra, M.; Barcala-Furelos, R.; Rodríguez-Núñez, A.; Greif, R. Teaching Basic Life Support to 5- to 8-Year-Old Children: A Cluster Randomized Trial. *Pediatrics* 2021, 148 (4), e2021051408. <https://doi.org/10.1542/peds.2021-051408>.
- Bollig, G.; Myklebust, A. G.; Østringen, K. Effects of First Aid Training in the Kindergarten - a Pilot Study. *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.* 2011, 19 (1), 13. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-19-13>.
- Pedrazas-López, D.; de Pablo-Márquez, B.; Cunillera-Puértolas, O.; Almeda-Ortega, J. Formación RCPParvulari: una metodología de formación en soporte vital básico aplicado al alumnado de 5 años de educación infantil: Efectividad en un ensayo clínico aleatorizado por conglomerados. *An. Pediatr. (Barc.)* 2023, 98 (2), 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2022.05.013>.

Bollig, G.; Wahl, H. A.; Svendsen, M. V. Primary School Children Are Able to Perform Basic Life-Saving First Aid Measures. *Resuscitation* 2009, 80 (6), 689–692. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.03.012>.

Olasveengen, T. M.; Semeraro, F.; Ristagno, G.; Castren, M.; Handley, A.; Kuzovlev, A.; Monsieurs, K. G.; Raffay, V.; Smyth, M.; Soar, J.; Svavarsdottir, H.; Perkins, G. D. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Basic Life Support. *Resuscitation* 2021, 161, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.009>.

Martínez-Isasi, S.; Carballo-Fazanes, A.; Jorge-Soto, C.; Otero-Agra, M.; Fernández-Méndez, F.; Barcala-Furelos, R.; Izquierdo, V.; García-Martínez, M.; Rodríguez-Núñez, A. School Children Brief Training to Save Foreign Body Airway Obstruction. *Eur. J. Pediatr.* 2023, 182 (12), 5483–5491. <https://doi.org/10.1007/s00431-023-05202-x>.

Carballo-Fazanes, A.; Abelairas-Gomez, C.; Rodríguez-Ruiz, E.; Barcala-Furelos, R.; Rodríguez-Núñez, A. Anti-choking suction devices for foreign body airway obstruction in children; 2021.

Cardalda-Serantes, B.; Carballo-Fazanes, A.; Rodríguez-Ruiz, E.; Abelairas-Gómez, C.; Rodríguez-Núñez, A. Would antichoking devices be correctly and quickly managed by health science students? A manikin crossover trial. *BMC Med Educ* 2023, 23.

Pivač, S.; Skela-Savič, B.; Gradišek, P. Effects of Cardiopulmonary Resuscitation with Automated External Defibrillator Training among Schoolchildren in Slovenia: A Pre- and Post-Test Cohort Study. *Zdr. Varst.* 2021, 60 (2), 131–137. <https://doi.org/10.2478/sjph-2021-0019>.

Phj, K.; Ae, W.; Wy, N.; Fook-Chong; Ekx, N.; Yy, N.; Meh, O. Knowledge and attitudes of Singapore schoolchildren learning cardiopulmonary resuscitation and automated external defibrillator skills. *Singapore Med. J.* 2018, 59 (9), 487–499. <https://doi.org/10.11622/smedj.2018021>.

Jorge-Soto, C.; Abelairas-Gómez, C.; Barcala-Furelos, C.; Gregorio-García, R.; Prieto-Saborit, C.; Rodríguez-Núñez, J. A. Aprendizaje del uso del desfibrilador semiautomático mediante métodos audiovisuales en escolares [Learning to use semiautomatic external defibrillators through audiovisual materials for schoolchildren. *Abr* 2016, 28 (2), 103–108



IP. Ana Sousa-Castillo

CINBIO- Centro de Investigación en Nanomateriais e Biomedicina, Universidade de Vigo, 36310 Vigo, España.

ana.sousa@uvigo.gal

Autores:

Lucía Guillade,

Miguel Spuch-Calvar

CINBIO- Centro de Investigación en Nanomateriais e Biomedicina, Universidade de Vigo, 36310 Vigo, España.

lguillade@uvigo.gal

miguel.spuch.calvar@uvigo.gal

Preservación dos hábitats acuáticos mediante o desenvolvemento de sensores nanoestructurados para a identificación de contaminantes emerxentes na auga.

Resumo

O dióxido de titanio (TiO_2) é un dos semicondutores máis utilizados en todo o mundo e a súa liberación na auga pode afectar negativamente os ecosistemas e a saúde humana. Para promover o uso seguro de nanomateriais foto-catalíticos, son esenciais métodos portátiles e económicos para a súa identificación rápida na auga. Neste traballo, desenvolveuse un sensor nanoestructurado para detectar, in situ, nanopartículas de TiO_2 (TiO_2NP) en auga de mar. Para iso, depositouse na superficie de membranas microporosas, nanocables de titanato con nanoestrelas de ouro (TiNW@AuNSs). Por medio destas películas, as TiO_2NP filtranse da solución acuosa e acumúlanse, formando así, unha interface física coas AuNSs . Mediante foto-catálise heteroxénea púidose establecer unha determinación cuantitativa do TiO_2 illado na auga. Este método parece ter unha capacidade única de enfoque específico e preciso para a vixilancia en tempo real de nanopartículas de TiO_2 , achandando o camiño cara a novos métodos de investigación en detección e foto-catálises heteroxénea.

Palabras clave

Nanotecnoloxía, detección, dióxido de titanio, nanopartícula plasmónica e foto-catálise heteroxénea.

1. Introducción

Hoxe en día, as nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2NP) son un dos nanomateriais de enxeñaría máis producidos e utilizados intensivamente en todo o mundo. Debido ao seu baixo custo, estrutura versátil e propiedades ópticas, o seu uso estendeuse a unha ampla gama de produtos e aplicacións, como cosméticos, alimentos, pinturas e industrias téxtiles, dispositivos electrónicos, tratamento de auga, conversión e almacenamento de enerxía solar [1]. Polo tanto, é un feito inevitable que os seus altos niveis de liberación no ambiente acuático como resultado da sobreproducción e o uso xeneralizado, expoñen riscos tóxicos potenciais na natureza e para os organismos vivos [2-5].

As propiedades semiconductoras das TiO_2NP , teñen a capacidade de transferir os electróns foto-excitados desde a súa banda de valencia á banda de condución baixo irradiación de luz UV, proporcionando propiedades únicas a estas partículas. Polo tanto, sábese que cantidades excesivas de especies reactivas de osíxeno (ROS) xeradas a través de reaccións de foto-catálise das TiO_2NPs poden causar toxicidade relacionada co estrés oxidativo nas contornas acuáticas [6,7]. Para comprender plenamente os efectos tóxicos asociados á xeración de ROS das TiO_2NPs , é crucial determinar a súa concentración, estrutura cristalina, interaccións con outras partículas e organismos circundantes, así como recollelas eficazmente do medio ambiente [8,9]. Aínda que existen varios métodos e dispositivos de análises para a detección, recollida e cuantificación das TiO_2NPs liberadas no medio ambiente, estes métodos poden presentar algúns dos principais inconvenientes [10-15]. Por exemplo, as NPs recollidas da auga de mar deben someterse a algúns pretratamentos como o gravado, a dixestión aceda, a centrifugación e a filtración. Ademais, tamén poden observarse coloides, agregados, moléculas máis grandes ou titanio elemental como resultado da análise, o que non proporciona información precisa para comprender a foto-reatividade xerada coas NPs [16]. Por tanto, é necesario desenvolver enfoques altamente sensibles pero tamén sinxelos e de baixo custo para analizar as TiO_2NP en sistemas acuáticos.

O obxectivo deste traballo foi deseñar experimentalmente un sensor nanoestructurado, mellorando a sensibilidade e os límites de detección das TiO_2NPs na auga de mar empregando a foto-catálise plasmónica. Para iso, levouse a cabo a fabricación de películas híbridas delgadas nanoestructuradas de nanocables de Ti en nanoestrelas de ouro (TiNW@AuNSs). Estas películas que actúan como sensor e soporte son capaces detectar TiO_2NPs por filtración da solución acuosa e acumúlanse, formándose así unha interfase entre o AuNS-TiO_2 . Co fin de evitar ROS a partir dos diferentes compoñentes da auga de mar, empregouse un simulador solar con irradiación de luz visible-NIR e cortando a porción de luz UV.

2. Discusión dos resultados

2.1 Síntese y caracterización do sensor nanoestruturado

Os nanocables de titanio (TiNW) son materiais unidimensionais (1D) con posibilidade de sintetizalos con diferente tamaño e anisotropía. Ademais poden presentar diferente carga superficial, polo tanto, os converten en bos candidatos para acumular TiO_2NP con alta eficiencia. Os TiNWs obtéñense por tratamento hidrotérmico de TiO_2NPs anatasa nunha solución altamente alcalina a temperaturas elevadas. O mecanismo de formación das TiNW foi descrito por Huang et al [17]. En consecuencia, nos primeiros minutos da reacción, as TiO_2NP disoltas na solución de NaOH precipitan en nanoplanchas ultrafinas de titanato. A continuación, as elevadas temperaturas aplicadas durante longos tempos e altas presións de procesado, inducen reaccións colaborativas de maduración de Ostwald e unión orientada que favorecen a formación de nanocables cunha estabilidade térmica mellorada en comparación cos nanotubos. Os TiNW obtidos presentan morfoloxías alongadas homoxéneas, como pode observarse nas imaxes TEM e SEM (Figura 1a,b), e teñen unha lonxitude media de $8\ \mu\text{m}$ e un diámetro de $266\ \text{nm}$ con elevadas relacións de aspecto (unha media de 28,8) (Figura 1c,d).

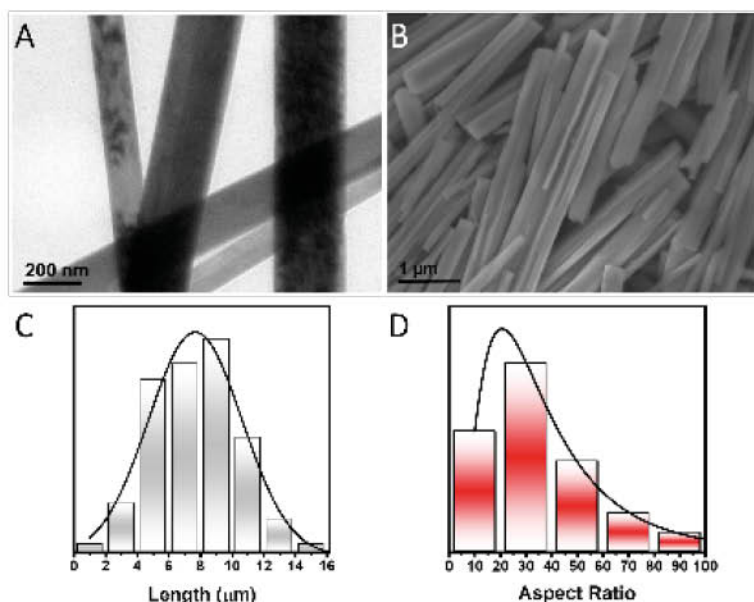


Figura 1. Caracterización dos TiNW sintetizados polo método hidrotérmico. a) imaxe TEM representativa, b) imaxe SEM, e histogramas de distribución de tamaños que representan as c) lonxitudes e d) relacións de aspecto medias. (N=200).

A continuación, sintetizáronse nanoestrelas de Au (AuNSs) plasmónicas mediante o método de crecemento mediado por sementes [19]. Para iso, sintetizáronse AuNP estabilizadas con PVP como sementes mediante un método de redución química. O precursor de ouro, HAuCl_4 , reduciuse mediante citrato trisódico a átomos de ouro (Au0) nunha solución acuosa a temperatura de

ebulición. A cor da solución cambiou co tempo de amarelo a transparente, negro e, finalmente, burdées por autoensamblaxe de átomos de Au⁰ para dar lugar a pequenas NPs esféricas. Finalmente, as AuNPs obtidas con diámetros medios de 15 nm recubrironse con PVP para proporcionar estabilidade e transferíronse a etanol para o seu posterior uso como sementes. Na etapa de crecemento anisotrópico, os procesos de redución e crecemento do precursor de ouro (AuCl₄⁻) adsorbido sobre a semente de ouro sintetizada realizáronse en presenza de PVP concentrado en disolvente de N,N'-dimetilformamida (DMF). Así, o AuCl₄⁻ é reducido por DMF, dando lugar á formación do complexo Au⁺-DMF, que pode observarse polo cambio de cor da solución. A continuación, o PVP reduce o Au⁺ a Au⁰, e a posterior nucleación e crecemento ao longo de determinadas caras cristalinas na semente de ouro estabilizada con PVP promove a formación de nanoestruturas de ouro anisotrópicas ramificadas en forma de estrela. As imaxes TEM mostran AuNP esféricas e as súas homólogas AuNSs anisotrópicas con puntas afiadas crecidas cara a fóra desde o núcleo da partícula de ouro (Figura 2a,b). Obtivéronse AuNS uniformes e homoxéneas con tamaños medios de 60 nm. O alto rendemento das estruturas ramificadas uniformes e a súa homoxeneidade están relacionados principalmente co método mediado por sementes en presenza de PVP, que proporciona unha síntese controlable en comparación coa redución directa do sal de ouro.

A figura 2c representa os espectros UV-visibles das AuNP e as AuNS. As AuNPs caracterizáronse pola seu plasmón superficial a 520 nm,

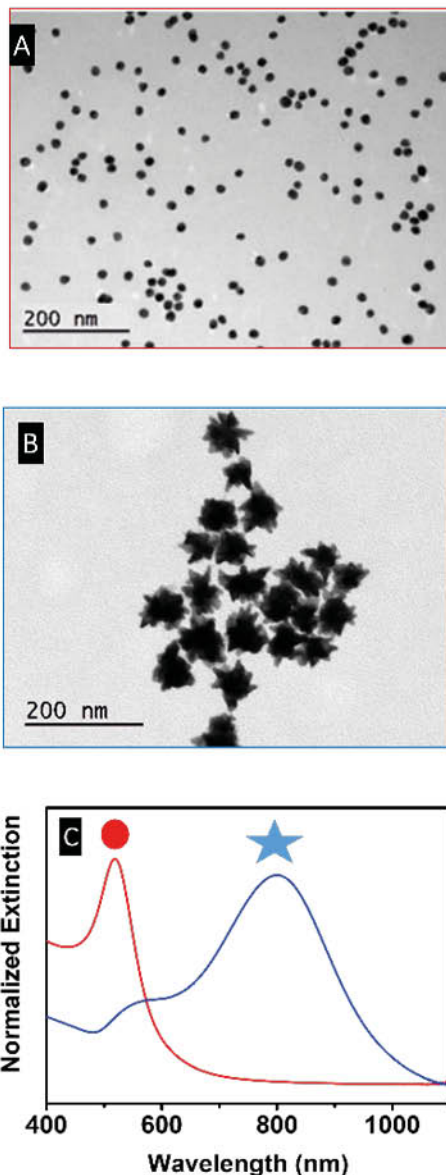


Figura 2. Imaxe TEM das AuNPs (a), AuNSs (b) e seu espectro UV-Vis (c).

que pode axustarse cambiando o diámetro da semente. Por todo isto, os espectros UV-visible das AuNSs demostraron as súas propiedades LSPR ben definidas por dous modos de resonancia plasmónica (resonancias dipolares) do núcleo da partícula a 550 nm e das puntas a 780 nm, respectivamente. O núcleo actúa principalmente como unha nanoantena, proporcionando fortes melloras do campo electromagnético aos plasmones das puntas. En consecuencia, obtivéronse picos de plasmones superficiais desprazados cara ao rango visible-NIR mediante o crecemento de estrelas anisótropas a partir de sementes esféricas. Estas propiedades ópticas (densidades e frecuencias de plasmones) poden axustarse en función da aplicación prevista variando as características das puntas, como a lonxitude, o ángulo medio e o número.

A figura 3 representa todos os pasos da síntese, desde a produción de nanomateriais híbridos ata a recollida das TiO_2 NP por filtración a través das membranas producidas. Para obter estes filtros, depositáronse AuNS sobre $TiNWS@PAH$ mediante ensamblaxe electrostático. A distribución homoxénea e as cantidades controlables de AuNSs obtivéronse mediante o método capa por capa (LbL), que mellora as interaccións metal-semiconductor e, en consecuencia, a súa actividade durante a foto-catálise. Por último, os híbridos $Ti NWS@PAH@AuNSs$ resultantes recubrironse de novo con PAH (polímero de carga positiva) e distribuíronse homoxeneamente sobre unha membrana comercial de nailon. Deste xeito, as dispersións acuosas de TiO_2 NP filtráronse a través desta membrana para recollelas nas nanoestructuras híbridas mediante interaccións electrostáticas.

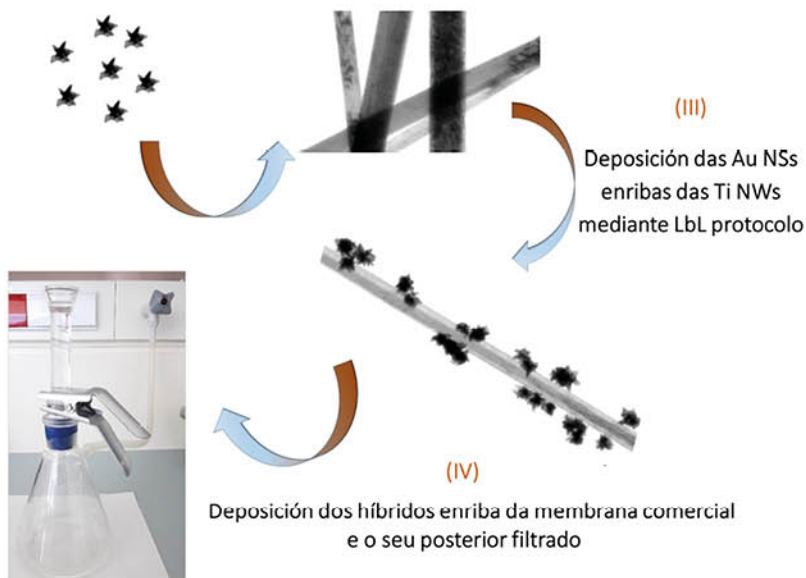


Figura 3. Representación de cada un dos pasos para formar o sensor híbrido nanoestructurado.

2.2 Estudos foto-catalíticos

En primeiro lugar, investigáronse os efectos da concentración, o tamaño e a estrutura cristalina das TiO_2 NPs seguindo o perfil da foto-degradación do colorante orgánico modelo RhB en presenza do catalizador (TiO_2 NPs). O colorante RhB transfórmase en RhB 110 a través de especies reactivas de osíxeno (ROS) foto-xeradas. O cambio de absorbancia asociado ás concentracións de colorante RhB ao longo do tempo pode monitorizarse facilmente mediante medidas de espectroscopia UV-visible. Certas cantidades de TiO_2 NPs (anatasa (5 e 15 nm) e mestura de anatasa e rutilo (80%-20%, P25)) mesturáronse cunha solución acuosa de RhB en placas de 96 pocillos e irradiáronse con luz UV (Luzchem UVA lamps (315-400 nm, 94%, 63.59 mW/m²) durante 5 horas. As diminucións da absorbancia do colorante RhB en función do tempo analizáronse mediante o lector de placas multimodo Envision Multimode Plate Reader.

A fotodegradación do colorante RhB en presenza do catalizador das TiO_2 NPs atribúese principalmente á foto-excitación directa das TiO_2 NPs baixo luz UV. Observouse que as porcentaxes de degradación do RhB se correlacionaban coa cantidade, o tempo, a estrutura cristalina e as tamaño/áreas superficiais específicas das TiO_2 NPs (Figura 4). Ademais, os experimentos realizáronse en dous medios de reacción diferentes: Auga Milli-Q e auga de mar (Ría de Pontevedra), xa que se sabe que o medio de reacción afecta á foto-actividade das TiO_2 NPs. Os resultados experimentais mostraron que a capacidade de degradación do colorante RhB segue a seguinte orde: anatasa (5 nm) > anatasa-rutilo (P25) > anatasa (15 nm), especialmente en baixas concentracións. Aínda que o TiO_2 de 15 nm ten forma de cristal de anatasa, o súa menor foto-actividade que o titanio anatasa de 5 nm pode atribuírse directamente ao seu tamaño de partícula e á súa baixa superficie específica (SSA: 40-60 m²/g para 15 nm e 150-300 m²/g para 5 nm). Curiosamente, a alta foto-actividade das partículas P25 a pesar do gran tamaño de partícula e a baixa área superficial (SSA: 50-60 m²/g) pode explicarse pola súa estrutura cristalina consistente nunha mestura de 80%-20% de anatasa e rutilo.

O aumento da concentración das TiO_2 NPs (de 0,39 a 250 ppm) e a prolongación do tempo de irradiación da luz (ata 5 h) garantiron un aumento da degradación do RhB para os tres polimorfos. Como resultado, viuse que os tres polimorfos de TiO_2 NPs, especialmente as mesturas de anatasa e anatasa-rutilo, poden ser detectados pola súa foto-reatividade sobre o colorante RhB no medio, mesmo en pequenas cantidades, grazas ás súas propiedades foto-catalíticas. Nos experimentos de foto-catalise realizados en auga de mar, observouse que a actividade diminuía lixeiramente en todos os casos. A razón máis importante é que a elevada concentración de ións e a materia orgánica na auga de mar provoca a aglomeración das partículas, e por tanto, perda de actividade. As principais diferenzas de foto-actividade entre as distintas partículas foron máis pronunciadas a concentracións máis baixas. En consecuencia, centrámonos en concentracións de TiO_2 NPs inferiores a 10 ppm para realizar os estudos foto-catalíticos, xa que as diferenzas de foto-actividade entre os tres polimorfos de TiO_2 diferentes son máis claras.

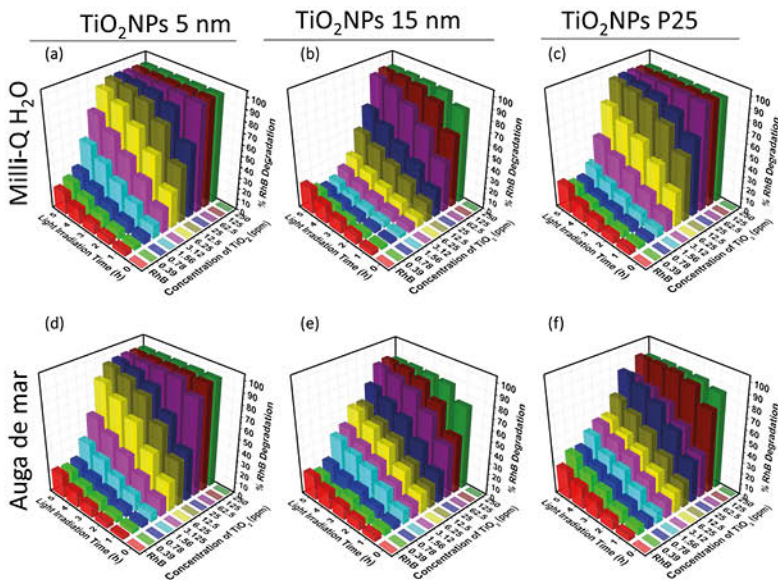


Figura 4. Foto-degradación do colorante RhB en presenza de TiO₂NPs baixo irradiación de luz UV. a,d) 5 nm de TiO₂NPs anatasa, b,e) 15 nm de TiO₂NPs anatasa, c,f) P25, 21nm de TiO₂NPs anatasa/rutilo (80%-20%), a-c) as reaccións realizáronse en auga Milli-Q, d-f) en auga de mar da Ría de Pontevedra.

Sábese que as propiedades ópticas das NPs metálicas plasmónicas varían en función do tamaño, a morfoloxía e a composición química do metal [18, 19]. Neste estudo, preferíronse AuNSs con morfoloxía anisotrópica debido á formación de campos electromagnéticos intensos nas súas puntas. Así, as AuNSs plasmónicas fixéronse sobre Ti NWS@PAH de cargados positivamente para aumentar a eficiencia fotocatalítica baixo a irradiación de luz solar. As membranas plasmónicas sintetizadas utilizáronse para recoller as TiO₂NPs por filtración e para detectar a súa presenza mediante as súas actividades fotocatalíticas melloradas (Figura 5c). A membrana inclúe TiNWS@AuNSs@TiO₂NPs caracterizouse cunha cor azul relacionada coa presenza de AuNSs (Figura 5a). A imaxe SEM (figura 5b) tomada da superficie da membrana mostra claramente as TiO₂NPs de recollidas nas estruturas TiNWS@PAH@AuNSs (figura 5d).

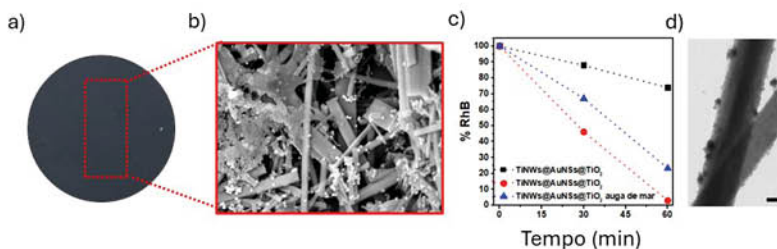


Figura 5. Fotografía das TiNWS@AuNSs de colocadas sobre unha membrana de nailon (a) e a súa imaxe SEM (b), foto-degradación da RhB mediante catalizadores sintetizados filtradas a partir de auga Milli-Q e auga de mar da Ría de Pontevedra (c), imaxe TEM das partículas obtidas despois do proceso de degradación (d).

3. Conclusións

Neste traballo de investigación presentamos un sistema de filtrado híbrido para capturar TiO₂NPs en auga de mar. Así, propúxose un novo enfoque para a detección de nanopartículas fotoactivas acumuladas en grandes cantidades na auga de mar, que é un dos principais problemas ambientais na actualidade. Coas reaccións fotocatalíticas mediada por plasmones, o TiO₂NPs recollese facilmente no sistema de filtrado desenvolvido e conséguese unha detección selectiva sen necesidade de custosos métodos de análises ou de procesos previos.

4. Agradecementos

Os estudos de TEM e SEM realizáronse utilizando as instalacións do Centro de Apoio Científico-Tecnolóxico á Investigación (C.A.C.T.I.) de Vigo. A.S.C. agradece á Xunta de Galicia pola súa bolsa posdoutoral. Os autores agradecen a financiación e o soporte á Deputación de Pontevedra e a Universidade de Vigo.

Referencias

- Abdel-Latif, H. M. R.; Dawood, M. A. O.; Menanteau-Ledouble, S.; El-Matbouli, M. Environmental Transformation of N-TiO₂ in the Aquatic Systems and Their Ecotoxicity in Bivalve Mollusks: A Systematic Review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2020**, *200*, 110776. DOI:10.1016/j.ecoenv.2020.110776.
- Diamond, S. A.; Kennedy, A. J.; Melby, N. L.; Moser, R. D.; Poda, A. R.; Weiss, C. A.; Brame, J. A. Assessment of the Potential Hazard of Nano-Scale TiO₂ in Photocatalytic Cement: Application of a Tiered Assessment Framework. *NanoImpact* **2017**, *46*, 1416–1436. DOI:/10.1016/j.impact.2017.06.006.
- Farner, J. M.; Cheong, R. S.; Mahé, E.; Anand, H.; Tufenkji, N. Comparing TiO₂ Nanoparticle Formulations: Stability and Photoreactivity Are Key Factors in Acute Toxicity to: *Daphnia Magna*. *Environ. Sci. Nano* **2019**, *6*, 2532–2543. DOI:10.1039/c9en00666d.
- Hou, J.; Wang, L.; Wang, C.; Zhang, S.; Liu, H.; Li, S.; Wang, X. Toxicity and Mechanisms of Action of Titanium Dioxide Nanoparticles in Living Organisms. *Journal of Environmental Sciences (China)*. **2019**, *75*, 40–53. DOI:10.1016/j.jes.2018.06.010.
- Shah, S. N. A.; Shah, Z.; Hussain, M.; Khan, M. Hazardous Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles in Ecosystem. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. **2017**. DOI:10.1155/2017/4101735.
- Rashid, M. M.; Tavčer, P. F.; Tomšič, B. Influence of Titanium Dioxide Nanoparticles on Human Health and the Environment. *Nanomaterials* **2021**, *11* (9). DOI:10.3390/NANO11092354.
- Luo, Z.; Li, Z.; Xie, Z.; Sokolova, I. M.; Song, L.; Peijnenburg, W. J. G. M.; Hu, M.; Wang, Y.; Luo, Z.; Li, Z.; Xie, Z.; Hu, M.; Wang, Y.; Sokolova, I. M.; Song, L.; Peijnenburg, W. J. G. M. Rethinking Nano-TiO₂ Safety: Overview of Toxic Effects in Humans and Aquatic Animals. *Small* **2020**, *16* (36), 2002019. Chapter 2, 96 DOI:10.1002/SMLL.202002019.
- Luo, Z. X.; Wang, Z. H.; Xu, B.; Sarakiotis, I. L.; Laing, G. Du; Yan, C. Z. Measurement and Characterization of Engineered Titanium Dioxide Nanoparticles in the Environment. *Journal of Zhejiang University: Science A*. **2014**. DOI:10.1631/jzus.A1400111.

Xu, F. Review of Analytical Studies on TiO₂ Nanoparticles and Particle Aggregation, Coagulation, Flocculation, Sedimentation, Stabilization. *Chemosphere*. **2018**, 212, 662-677. DOI:10.1016/j.chemosphere.2018.08.108.

Philippe, A.; Košík, J.; Welle, A.; Guigner, J. M.; Clemens, O.; Schaumann, G. E. Extraction and Characterization Methods for Titanium Dioxide Nanoparticles from Commercialized Sunscreens. *Environ. Sci. Nano* **2018**, 5, 191-202. DOI:10.1039/c7en00677b.

Dutschke, F.; Irrgeher, J.; Pröfrock, D. Optimisation of an Extraction/Leaching Procedure for the Characterisation and Quantification of Titanium Dioxide (TiO₂) Nanoparticles in Aquatic Environments Using SdFFF-ICP-MS and SEM-EDX Analyses. *Anal. Methods* **2017**, 9, 3626-3635. DOI:10.1039/c7ay00635g.

Sysoltseva, M.; Winterhalter, R.; Wochnik, A. S.; Scheu, C.; Fromme, H. Electron Microscopic Investigation and Elemental Analysis of Titanium Dioxide in Sun Lotion. *Int. J. Cosmet. Sci.* **2017**, 39, 292-300. DOI:10.1111/ics.12375.

Deng, Y.; Petersen, E. J.; Challis, K. E.; Rabb, S. A.; Holbrook, R. D.; Ranville, J. F.; Nelson, B. C.; Xing, B. Multiple Method Analysis of TiO₂ Nanoparticle Uptake in Rice (*Oryza Sativa* L.) Plants. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, 51 (18), 10615-10623. DOI:10.1021/acs.est.7b01364.

Bitragunta, S. P.; Palani, S. G.; Gopala, A.; Sarkar, S. K.; Kandukuri, V. R. Detection of TiO₂ Nanoparticles in Municipal Sewage Treatment Plant and Their Characterization Using Single Particle ICP-MS. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2017**, 98, 595-600. DOI:10.1007/s00128-017-2031-8.

Badalova, K.; Herbelo-Hermelo, P.; Bermejo-Barrera, P.; Moreda-Piñeiro, A. Possibilities of Single Particle-ICP-MS for Determining/Characterizing Titanium Dioxide and Silver Nanoparticles in Human Urine. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **2019**, 54, 55-61. DOI: 10.1016/j.jtemb.2019.04.003.

Gondikas, A.; Von Der Kammer, F.; Kaegi, R.; Borovinskaya, O.; Neubauer, E.; Navratilova, J.; Praetorius, A.; Cornelis, G.; Hofmann, T. Where Is the Nano? Analytical Approaches for the Detection and Quantification of TiO₂ Engineered Nanoparticles in Surface Waters. *Environ. Sci. Nano* **2018**, 5, 313-326. DOI:10.1039/c7en00952f.

Huang, J.; Cao, Y.; Huang, Q.; He, H.; Liu, Y.; Guo, W.; Hong, M. High-Temperature Formation of Titanate Nanotubes and the Transformation Mechanism of Nanotubes into Nanowires. *Cryst. Growth Des.* **2009**, 9 (8), 3632-3637. DOI: 10.1021/cg900381h.

Sousa-Castillo, A.; Comesaña-Hermo, M.; Rodríguez-González, B.; Pérez-Lorenzo, M.; Wang, Z.; Kong, X. T.; Govorov, A. O.; Correa-Duarte, M. A. Boosting Hot Electron-Driven Photocatalysis through Anisotropic Plasmonic Nanoparticles with Hot Spots in Au-TiO₂ Nanoarchitectures. *J. Phys. Chem. C* **2016**, 20 (21), 11690-11699. DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b02370.

Sousa-Castillo, A.; Couceiro, J. R.; Tomás-Gamasa, M.; Mariño-López, A.; López, F.; Baaziz, W.; Ersen, O.; Comesaña-Hermo, M.; Mascareñas, J. L.; Correa-Duarte, M. A. Remote activation of hollow nanoreactors for heterogeneous photocatalysis in biorelevant media. *Nano Letters*, **2020**, 20(10), 7068-7076. DOI: 10.1021/acs.nanolett.0c02180



IP: Luis Velasco-Martínez

Universidade de Vigo (España), Facultade de Ciencias da Educación e do Deporte, Campus da Xunqueira, S/N, 36002 España.

luis.velasco.martinez@uvigo.es

Autores:

**Alberto José Pazo Labrador,
María Pilar Moragón Arias**

Universidade de Vigo (España), Facultade de Ciencias da Educación e do Deporte, Campus da Xunqueira, S/N, 36002 España.

apazo@uvigo.es

mariapilarmoragon@uvigo.es

Análise de despoboamento e da reconfiguración espacial da poboación na Provincia de Pontevedra do século XXI

Resumo

A prospectiva ten como fonte indispensable a historia e como ferramentas analíticas básicas as propias do eido das ciencias sociais. O proceso de concentración poboacional en Galicia seguiu unha dinámica clara ao longo das últimas décadas. En Galicia a concentración de poboación na área litoral é un feito obxectivo que xa foi analizado e sobre o que se ten problematizado. Neste proxecto complementouse esta análise cunha mirada prospectiva que reflexa os condicionantes que estas dinámicas proxectan sobre o futuro da provincia de Pontevedra. Os desequilibrios territoriais e socioeconómicos son causa e produto desta dinámica demográfica. A mellora do diagnóstico, para comprender o funcionamento do proceso a escala micro, meso e macroterritorial, precisa a desagregación dos datos a escala parroquial nos diversos indicadores demográficos. Conclúese que os contrastes demográficos e territoriais na provincia continúan profundándose, tamén que a escala parroquial resulta o marco de análise máis adecuada para coñecer e comprender o fenómeno.

Palabras clave

Despoboamento, Galicia, Pontevedra, Migración interna, Interior, Litoral, Avellentamento.

1. Introducción

O dinámica de despoboamento é un feito en Galicia, pero tamén un proceso que non se detén. A poboación tende a concentrarse nas zonas costeiras, dinámicas no contexto galego e mesmo español, e a baleirar o interior, como se demostra reiteradamente, ao tempo que se produce un proceso de envellecemento irreversible que afecta á práctica totalidade do territorio, especialmente aos sectores montañosos das catro provincias (Hernández Borge, 2002, 2011, 2013, 2023; Pazo-Labrador e Moragón-Arias, 2010, 2018; Rodríguez González et al., 1999; Aldrey-Vázquez, Aldrey-Vázquez, 2006V; e Del Río-Franqueira, 2014; Aldrey-Vázquez et al., 2008; Saco, 2010; Pérez Guilarte et al., 2020). Isto contribúe a marcar unha fenda territorial que acentúa os desequilibrios socioeconómicos e a falta de cohesión, como ocorre noutros puntos de España e de Europa (Pijnilla e Sáez, 2016; Gómez Villarino e Gómez Orea, 2021; García Álvarez-Coque, 2021; Fernández Prieto, 2018; Dumont, 2019; Collantes, 2019).

Este dualismo litoral-interior esténdese en Galicia ao diferente comportamento da evolución da poboación entre as provincias orientais e occidentais. Porén, as últimas décadas tamén castigaron o seu dinamismo demográfico (Figura 1) aínda que manteñen unha certa lentitud no seu desenvolvemento.

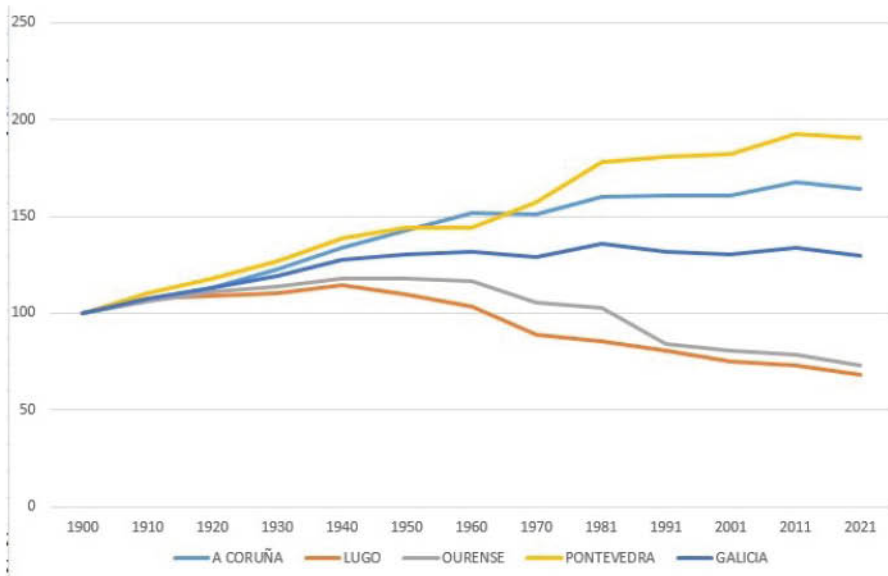


FIGURA 1. Evolución da poboación nas catro provincias galegas con base 100 en 1900. Fonte: INE. Elaboración propia

A provincia de Pontevedra é a máis dinámica de Galicia desde o punto de vista demográfico e socioeconómico (Hernández Borge, 2023), pero tamén presenta fortes contrastes internos que non fan máis que acentuarse, afondando unha fenda difícil de pechar e que ten que ver cos mesmos procesos de despoboamento e envellecemento que afectan a todo o territorio autonómico no marco dunha dinámica nacional. Como podemos observar (táboa 1), nas dúas últimas décadas o número de concellos que perden poboación dentro da provincia supera ao dos que a gañan, ao tempo que diminúe o seu peso porcentual e o seu persoal total; mentres que aqueles concellos máis dinámicos, practicamente todos eles costeiros, están a experimentar un incremento moderado e unha maior relevancia no volume demográfico do colectivo.

| 2000-2022 | Número | Población acumulada en 2000 (habs.) | Peso porcentual en la provincia | Población acumulada en 2022 (habs.) | Peso porcentual en la provincia | Porcentaje de pérdida/ganancia |
|----------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Municipios que pierden población | 32 | 234.598 | 25,7% | 204.923 | 21,7% | -12,65% |
| Municipios que ganan población | 29 | 678.023 | 74,3% | 738.092 | 78,3% | + 8,9% |

TÁBOA 1. Evolución do peso porcentual dos concellos que gañaron e perderon poboación na provincia de Pontevedra, entre 2000 e 2022. Fonte: INE. Elaboración propia

A escala municipal xorden polo tanto contrastes, pero a complexidade da distribución da poboación en Galicia esixe que o diagnóstico se realice dun xeito máis matizado para comprender a lóxica dos procesos de despoboamento e desertización demográfica. Dentro destes municipios tamén existen dinámicas propias e existen procesos internos de despoboamento. Este fenómeno pódese apreciar mellor se empregamos un elemento singular do territorio galego: a parroquia rural. A estrutura parroquial, sen recoñecemento legal nin administrativo en Galicia, pero con límites identificables e perfectamente cartografiados, permitíranos solucionar as condicións que presentan as demarcacións municipais oficiais que non adoitan estar relacionadas coa estrutura real da distribución dos asentamentos e das poboacións. (Martínez Fernández e Delgado Urrecho, 2013; Pueyo Campos et al., 2014; Mora Aliseda et al., 2015; Bandrés Moliné e Azón Puertas, 2022).

Para facernos unha idea do grao de detalle e da fenda, pensemos que a provincia de Pontevedra está dividida en 61 termos municipais e unhas 670 parroquias. A estrutura municipal presenta fortes disparidades: en Pontevedra hai dous dos concellos máis extensos de Galicia (Lalín e A Estrada), así como o máis poboado (Vigo), e tamén varios dos máis pequenos (Mondariz-Balneario —o de menor extensión de Galicia— e Pontecesures e Illa de Arousa). Nos concellos máis grandes, ademais, atópanse con frecuencia importantes contrastes internos. As parroquias tamén son diversas en tamaño e características pero son espazos moito máis homoxéneos dende o punto de vista xeográfico. Non esquezamos que os concellos, cando se constituíron no século XIX, facíano como unha mera agregación de territorios parroquiais.

Na nosa proposta centrámonos neste elemento que resulta bastante clarificador pola oportunidade que nos ofrece para ampliar a escala de observación e análise a unha nivel de detalle que a división municipal non permite. Asemade, este nivel analítico nos permite identificar como as propias dinámicas de despoboamento afectan a nivel intramunicipal.

2. Hipótese, obxectivos principais e metodoloxía aplicada

Identificar a escala parroquial fronte á municipal como elemento básico de análise das dinámicas poboacionais en Galicia e especialmente en Pontevedra plantexouse como a hipótese principal. Entre os obxectivos estivo destacar a existencia dunha fenda territorial na provincia de Pontevedra no que se refire á distribución da súa poboación. Asemade, a reivindicación dos modelos e proxeccións cartográficas como ferramentas de análise e elementos indispensables no proceso de toma de decisións tamén é remarcable. Para lograr estes obxectivos principais, houbo que alcanzar outros de tipo secundario, nomeadamente: a análise de indicadores que a escala parroquial permitisen comprobar o grao de despoboamento —densidades poboacionais, evolucións diacrónicas, envellecemento e alteracións das proporcións por sexos—. Todo elo sen perder de vista a demostración de que a superación do marco analítico municipal tamén permite a comprender e valorar as propias dinámicas de despoboamento intramunicipal.



Figura 2. A provincia de Pontevedra no seu contexto rexional. Elaboración propia

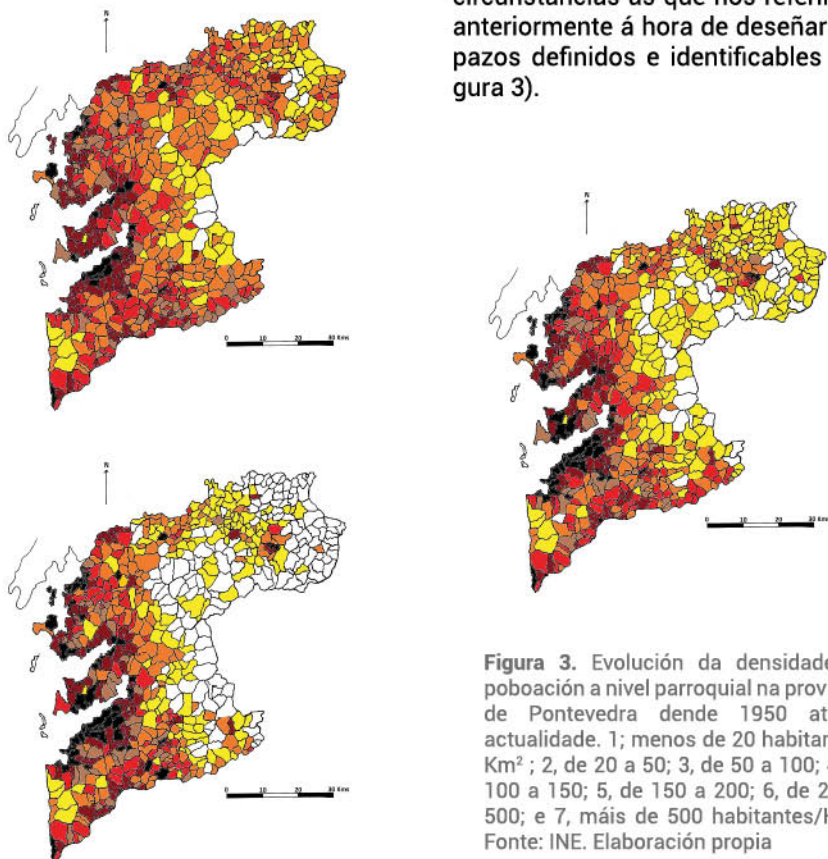
Utilizáronse como fonte básica os do INE (Instituto Nacional de Estadística) e o IGE (Instituto Galego de Estadística). Ambas ofrecen cifras desagregadas a escala parroquial, e mesmo a nivel de entidade singular, o que facilita a tarefa de crear unha proxección cartográfica de base parroquial que amose a acentuación e o afondamento dos contrastes entre aglomeración e despoboamento nos últimos tempos, con algúns matices importantes que escapan á escala municipal dentro da provincia de Pontevedra. A isto engadiremos a valoración dos distintos datos e índices que revelan estas circunstancias.

3. Discusión

Observaremos os feitos do despoboamento e as tendencias que definen a magnitude e continuidade da fenda, a través da análise da evolución das densidades de poboación, a evolución diacrónica da demografía numérica e o envellecemento e a alteración da proporción de sexos, coa base parroquial.

3.1 Evolución das densidades de poboación

Entre 1950 e 2023 a evolución das densidades de poboación incide nas circunstancias ás que nos referimos anteriormente á hora de deseñar espazos definidos e identificables (Figura 3).



O progresivo baleirado do interior reflictese na diminución do valor dos niveis seleccionados no rango de densidades, confinándose as cores máis claras (valores inferiores a 20 habitantes/Km²) case exclusivamente no interior. Isto ocorre con rapidez, como se pode comprobar co que acontece entre 2000 e 2023, no que se deseña co mapa de densidades o trazado natural da Cordilleira Meridiana de Galicia. Os espazos de montaña interior son zonas que progresivamente van expulsando poboación. Pola contra, as densidades aumentan notablemente nas parroquias costeiras que rodean e estenden as principais aglomeracións urbanas da provincia, os espazos máis poboados, os do "Eixo Atlántico" e a súa extensión polo Baixo Miño. Tamén observamos as excepcións que corresponden a certas "vilas" puxantes do interior, capitais comarcais que concentran a poboación esencial do seu espazo municipal: Lalín, Silleda ou A Estrada. Nestes casos apréciase a disociación entre a escala municipal e a parroquial: son tres concellos que presentan densidades de poboación baixas ou moi baixas pero que nas parroquias que acollen as súas capitais os valores aumentan e mesmo se equiparan aos de determinadas zonas costeiras. Aínda que os contrastes neste caso non son tan fortes, as zonas costeiras non presentan unha homoxeneidade completa na distribución das densidades.

Dedúcese que os espazos de "montaña" son lugares despoboados ou con tendencia ao despoboamento, con parroquias que presentan en ocasións densidades próximas aos "desérticos demográficos" e que cada vez ocupan unha extensión maior a escala provincial. Aínda que

non se pode falar de homoxeneidade absoluta por diversas excepcións, na provincia máis dinámica de Galicia se evidencia unha clara dicotomía, o que fai necesario afondar nas análises á escala que propoñemos para tomar conciencia da verdadeira entidade do fenómeno. Temos en conta, como cuantificación significativa dos contrastes, que, na actualidade, son 92 os espazos parroquiais que teñen unha densidade inferior a 15 habitantes/Km², mentres que 63 superan os 500 habitantes/Km²; a súa localización é sinxela observando a distribución dos valores no mapa.

Dos preto de 670 espazos parroquiais que conforman a provincia de Pontevedra, só 158 rexistraron crecemento no período 2000-2022 (o 23,7% do total), mentres que a relación entre os concellos que medran é máis equilibrada (29) e os que diminuír (32), como vimos antes. Na figura 4 observamos a situación en detalle. O ton de cor é ilustrativo da configuración da fenda demográfica da que falamos, consolidando un territorio provincial claramente dicotómico en canto á dinámica das súas tropas. A imaxe da dereita, que corresponde ao período de tempo de 2000 a 2022, presenta as perdas acumuladas que só amosan a perpetuación da tendencia que xa se marcaba entre 2000 e 2015, e vemos como, nun período de sete anos, a situación empeorou nas zonas máis orientais da provincia e mesmo nalgúns zonas costeiras máis desfavorecidas, ben polas súas peculiares condicións físicas, ben polas especiais circunstancias de marxinação en contextos dinámicos. Pola contra, a concentración continúa nas zonas costeiras, especialmente nas principais áreas urbanas e nas súas zonas periurbanas.

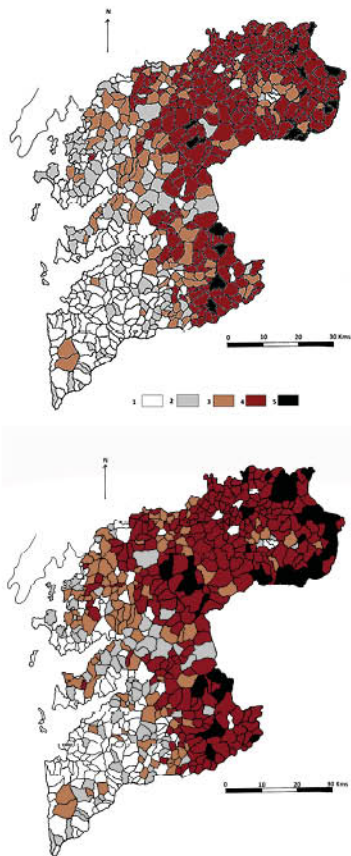


Figura 4. Evolución da poboación entre 2000 e 2015, e 2000 e 2022 na provincia de Pontevedra a nivel parroquial. 1, Crecemento; 2, Diminuír ata -9,9%; 3, Diminución de -10 a -19,9%; 4, Diminución do -20 ao -49,9%; e 5, Descenso do -50% e máis. Fonte: INE. Elaboración propia. Fonte: INE. Elaboración propia.

Tamén podemos subliñar o sinalado anteriormente, como os espazos claros que aparecen no interior provincial corresponden ás excepcións que representan as parroquias que acollen as cabeceiras de determinados concellos, que son destacables cabeceiras comarcais, concretamente os casos de Lalín, Silleda ou A Estrada, no cuadrante nordeste.

Tamén se pode observar, e a escala parroquial así o corrobora, que os territorios inmersos nestes procesos non son un todo homoxéneo, xa que entran en xogo factores como a relativa proximidade e accesibilidade aos núcleos urbanos, o grao de diversificación económica e desenvolvemento do sistema agrícola, a fortaleza de certas capitais rexionais, etc. (Pazo Labrador e Moragón Arias, 2018). Pero os datos son concluíntes: 50 parroquias (o 7,5% do total) experimentan perdas demográficas superiores ao 50% entre 2000 e 2022, e case a metade (310) experimentan perdas demográficas superiores ao 20%.

3.2 Envellecemento e despoboamento

Como indicabamos, o envellecemento asóciase en Galicia ao despoboamento de grandes territorios, polo que se pode afirmar que é causa e consecuencia do mesmo, constituíndo unha dinámica retroalimentada: o despoboamento envellece aínda máis as zonas rurais, e o despoboamento envellece aínda máis o rural. O envellecemento frea o posible dinamismo ou impide a reversión do proceso de despoboamento, á marxe dos retos e problemas que o propio fenómeno supón e suporá no ámbito socioeconómico.

Dos datos anteriores dedúcese, polo tanto, que os espazos de interior convértese en áreas regresivas e "lugares para maiores", con estruturas demográficas desequilibradas polo éxodo rural orixinalmente masivo e selectivo nas décadas máis recentes, e polo tanto máis prexudiciais se cabe (Aldrey Vázquez, 2009; Aldrey Vázquez et al., 2008), secto-

res pouco integrados e pouco adaptados aos cambios estruturais que experimentou nas últimas décadas a economía rexional e global, víronse desfavorecidos pola súa posición marxinal, as difíciles condicións ambientais e a complicada inserción nos procesos de urbanización contemporáneos.

Para realizar un diagnóstico axeitado, a única escala accesible é a de ámbito municipal. Este é o marco do que ofrecen datos os organismos estatísticos, tanto nacionais como autonómicos. Neste sentido, o panorama de hai uns anos xa era revelador para toda Galicia, como se aprecia no gráfico 5, onde se amosa o grao de envellecemento a partir da comprobación daqueles indicadores máis rechamantes, ao reflectir aqueles concellos nos que son máis salientables as porcentaxes de persoas maiores de 65 anos e maiores de 85, respectivamente, e que, como se aprecia, esténdense pola zona oriental e sueste da autonomía así como polo interior montañoso dorsal.

No contexto autonómico, destaca claramente a situación da zona oriental da provincia de Pontevedra, que está totalmente á altura das zonas máis envellecidas de Galicia, tanto no valor da taxa ou proporción de envellecemento (porcentaxe de persoas maiores de idade). 65 anos sobre o total da poboación) superando con creces o 15% que se considera habitualmente como limiar de envellecemento, como no índice de sobreenvellecemento. De feito, só 6 concellos están por debaixo do 20% na taxa de envellecemento (Gondomar, Pontearreas, Pontecesures, O Porriño, Salceda de Caselas e Soutomaior), o que indica que se trata dun proceso que afecta incluso ás zonas

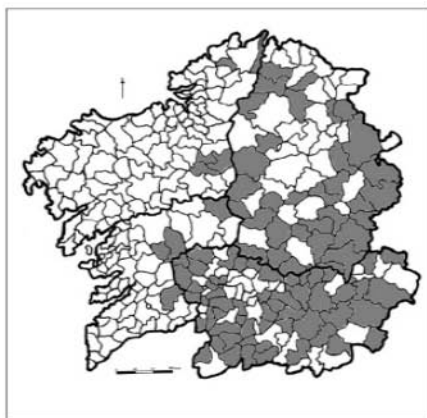
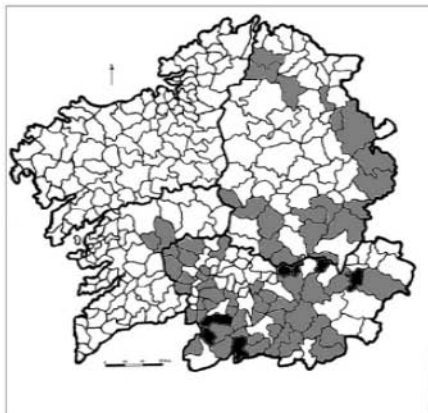


Figura 5. Imaxe da esquerda: Concellos galegos con máis do 40% de maiores de 65 anos en 2015 (en ton máis escuro, os que superan o 50%). Imaxe da dereita: Concellos galegos con máis do 15% de maiores de 85 anos. Ano 2015. Fonte: Pazo Labrador e Moragón Arias, 2018

máis urbanas. habitual que moitas persoas maiores abandonen o campo despois da xubilación para instalarse en casas de familiares ou en residencias das cidades). Só un concello, o dinámico Salceda de Caselas (un dos que máis incrementou a súa poboación nas últimas décadas), na área de expansión urbana e industrial de Vigo, supera o 15% (concretamente o 15,6%).

A escala parroquial podemos inferir indirectamente o envellecemento da poboación, así como a incidencia do despoboamento, a través dun indicador moi significativo que é a alteración da proporción de sexos. Se o valor é "anormal", no sentido dun maior peso da poboación masculina sobre a feminina nun contexto, como xa vimos nos concellos, de gran envellecemento, pódese deducir a existencia dun proceso de despoboamento activo dende O feito revela un alto grao de emigración feminina; En condicións normais de envellecemento, a fracción feminina debería constituír a parte máis importante da poboación, xa que, como é sabido, a esperanza de vida é maior entre as mulleres e así se reflicte tamén nas pirámides de idade.

Na figura 6 pódese observar este feito, que afecta a boa parte das parroquias do interior montañoso, pero tamén a algunhas do litoral (O Grove, Sanxenxo) ou do periplo vigués. En conxunto, das 667 parroquias que conforman a provincia de Pontevedra, 208 (o 31,2%) presentan alterada a proporción de sexos en 2022, sendo boa parte delas integradas, como dicimos, a concellos claramente envellecidos. Deles, 157 ven como o proceso investidor se produce entre 2000 e 2022 (o 23,5% do total) mentres que 51 (un 7,6%) xa tiñan no ano 2000 unha proporción de sexos desequilibrada. Pola súa banda, e nun contraste que reforza a necesidade da parroquial. análise, só 6 dos 61 concellos da provincia inverten conxuntamente a súa proporción de sexos entre 2000 e 2022. Destes feitos podemos deducir que o despoboamento, materializado no abandono da poboación e concretamente da poboación feminina, pode afectar con maior intensidade ás zo-

nas de que, cos indicadores anteriores, a súa verdadeira entidade pode permanecer máis "oculta". En todo caso, a brecha litoral-interior está, se é posible, máis confirmada con esta circunstancia. A ausencia de datos a nivel parroquial impídenos concretar máis, pero non cabe dúbida de que darían fe do que indica este indicador, que está moi relacionado tanto co proceso de envellecemento como co despoboamento e expulsión da poboación destes grandes territorios do interior de Galicia.

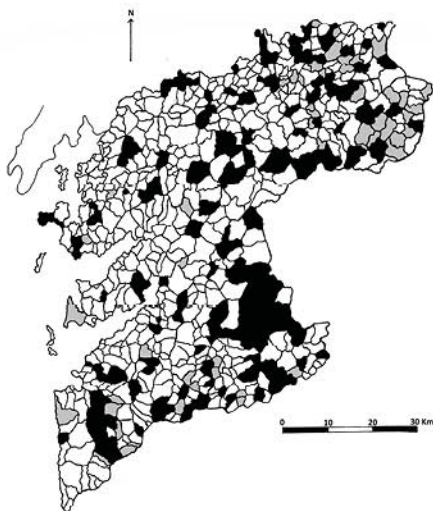


Figura 6. Parroquias da provincia de Pontevedra nas que a proporción de sexos se viu alterada entre os anos 2000 e 2022. En cor máis clara, aquelas que xa presentaban a anomalía no ano 2000 e a manteñen. Fonte: INE. Elaboración propia

4. Conclusións

Pretendemos facer un diagnóstico detallado dunha situación problemática, un reto demográfico que cada vez é máis preocupante e para o que se deben poñer en marcha solucións para corrixir os desequilibrios territoriais e socioeconómicos. É evidente que resulta necesaria a desagregación dos datos a nivel parroquial nos distintos indicadores demográficos para poder facer un diagnóstico adecuado e profundo destas circunstancias. Se os organismos estatísticos oficiais ofrecen canto antes a distribución da poboación por grupos de idade na escala parroquial, para realizar adecuadamente a análise da estrutura da poboación, o proceso de toma de decisións melloraría.

Como conclusións, observamos que os contrastes demográficos, e polo tanto territoriais, na provincia de Pontevedra, lonxe de atenuarse, seguen afondándose, quizais de xeito irreversible ao longo do século XXI. Queda patente que a escala parroquial é a máis axeitada para apreciar con máis detalle as indicadas tendencias de despoboamento e desertización demográfica. Reiteramos a necesidade de contar con estatísticas de estrutura da poboación a esta escala para poder completar o que indican o resto de indicadores. O despoboamento aparece como unha situación problemática, un reto para os poderes públicos e para toda a sociedade, porque se acentúan os desequilibrios territoriais e socioeconómicos, materializando unha situación, como dicíamos, absolutamente inxusta. Incidimos en que a escala parroquial permite comprender a dimensión da problemática tamén de xeito intramunicipal.

5. Agradecementos

Esta publicación se enmarca na actividade investigadora do Grupo de Investigación Historia Contemporánea 1 (HC1) da Universidade de Vigo (I.P.: Rodríguez Lago, Xosé Ramón). Asemade cóntase nos resultados do proxecto de investigación «INPO23-08: Análise do despoboamento e da reconfiguración espacial da poboación na Provincia de Pontevedra no século XXI (I.P.: Velasco Martínez, Luís)» no marco da convocatoria de proxectos de investigación 2023 da Excma. Deputación Provincial de Pontevedra. Agradecemos o apoio do profesor Jesús Barreal Pernas, do Departamento de Economía Financiera y Actuarial y Estadística da Universidad Complutense de Madrid (España), polas súas indicacións e a súa axuda. Asemade, agradecemos todas as contribucións realizadas no marco dos congresos e relatorios onde esta investigación foi presentada.

Soportes

Esta publicación forma parte do proxecto de investigación "INPO23-08: Análise do despoboamento e reconfiguración espacial da poboación na Provincia de Pontevedra no século XXI (IP. Velasco Martínez, Luís)" no marco da convocatoria de proxectos de investigación 2023. da Excm. Deputación Provincial de Pontevedra.

Referencias

- Aldrey Vázquez, JA (2006). Unha poboación galega, 1900-2005. Vaia Indo.
- Aldrey Vázquez, JA e Del Río Franqueira, D. (2014). Crónica dun envellecemento anunciado: Galicia 2015-2030. En A. López Gay, E. Rojo, M. Solsona, A. Andújar, J. Cruz, R. Iglesias, JM Fera e A. Vahi (eds.), XIV Congreso Nacional de Poboación. Cambio demográfico e socioterritorial nun contexto de crise, (pp. 69-82). Grupo de poboación AGE.
- Aldrey Vázquez, JA, Lois González, RC e San Román, JM (2008). Dinámica territorial e sociodemográfica da serra galega. Polígonos. Revista de Xeografía, 18, 13-36. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i18.196>
- Bandrés Moliné, A, e Azón Puértolas, V. (2022). España despoboadá: semellanzas e diferenzas territoriais. Información Comercial Española, 928, 27-49. <https://doi.org/10.32796/ice.2022.928.7507>
- Bello Paredes, SA (2023). O despoboamento en España: Balance de políticas públicas implementadas e propostas de futuro. Revista de Estudos da Administración Local e Autonómica, 19, 125-147. <https://doi.org/10.24965/reala.11167>
- Collantes, F. (2019). Lugares que non importan?:o despoboamento do rural español dende 1900 ata a actualidade. Imprentas da Universidade de Zaragoza. <http://catedradespoblaciondpz.unizar.es/wp-content/uploads/2021/03/Lugaresquenoimportan.pdf>
- Del Romero Renau, L. (2018). Despoboamento e abandono do rural español. Tirant Humanidades.
- Dumont, G. F. (2019). Despoboamento ou despoboamento na Unión Europea? Population et avenir, 743, 3. DOI: 10.3917/popav.743.0003
- Fernández Prieto, M. (2018). Contra o despoboamento: Europa na encrucillada. Bubok Publishing, SL
- García Álvarez-Coque, JM (2021). Despoboamento rural. Editorial Universidad Politécnica de Valencia
- García-Moreno Rodríguez, F. (dir.) (2019). O despoboamento do mundo rural: algunhas propostas (prácticas e realistas) dende o ámbito xurídico, económico e social para tentar paliar ou revertir un fenómeno tan vilipendiado. Aranzadi.
- Gómez-Villarino, T. e Gómez-Orea, D. (2021). O despoboamento rural extremo en España: aproximación territorial ao problema e a forma de abordalo. Cidade e territorio-Estudios territoriais, 53 (210), 905-922. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2021.210.01>
- González Medina, M. e Sevillano, A. (2022). A dinámica do despoboamento nos concellos galegos: caracterización, necesidades territoriais e resposta política. En Navarro Gómez, C., Ruiz Pulpón, AR, Velasco Caballero, F. e Castillo Abella, J. (eds). Actas do I Congreso interdisciplinar sobre despoboamento. Diagnóstico, territorio e goberno local (pp. 93-106). Instituto de Dereito Local, Universidade Autónoma de Madrid. https://www.idluam.org/blog/wp-content/uploads/2022/12/2022_Actas_Congreso_Des poblacion.pdf

Hernández Borge, J. (2002). "Evolución recente da poboación costeira galega". Na VVAA. Homenaxe a José García Oro (pp. 569-582). Servizo de Publicacións da Universidade de Santiago de Compostela.

Hernández Borge, J. (2011). Despoboamento e avellentamento: Galicia cara ao ano 2020. *Revista Galega de Economía*, 20, 121-140. <http://hdl.handle.net/10347/19516>

Hernández Borge, J. (2013). Galicia, unha poboación madura. Servizo de Publicacións e Intercambio Científico da Universidade de Santiago. https://www.researchgate.net/publication/286457536_Galicia_unha_poboacion_avelentada/link/6231c8f50837bf2b9edb-32fd/download

Hernández Borge, J. (2023). Xeodemografía da provincia de Pontevedra (1970-2020). *Minius*, 27, 417-440. <https://doi.org/10.35869/mns.v0i27.4418>

Lei orgánica 5/2021, do 2 de febreiro, do impulso demográfico de Galicia. *Boletín Oficial do Estado*, no 78, 1 de abril de 2021, pp. 37.450 a 37.491. <https://www.boe.es/eli/es-ga/l/2021/02/02/5>

Martínez Fernández, LC e Delgado Urrecho, JM (2013). Poboación, administración e territorio en Castela e León: desequilibrios e retos do modelo de asentamento. *Foi*, 90, 5-30. <https://reunido.uniovi.es/index.php/RCG/article/view/9899>

Mora Aliseda, J., Garrido Velarde, J. e Díaz González, M. (2015). Dinámica socioespacial e previsións demográficas na conca internacional do río Miño-Sil. *Anais de Xeografía da Universidade Complutense*, 35 (1), 95-117. http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2015.v35.n1.48965

Pazo Labrador, AJ e Santos Solla, JM (1995). Poboación e territorio. Como parroquias galegas nos últimos anos. Difux - Consellería de Educación e Ordenación Universitaria, Dirección Xeral de Política Lingüística.

Pazo Labrador, AJ e Moragón Arias, MP (2010). Cartografía do despoboamento en Galicia a escala parroquial. Galicia occidental. *Revista de Investigación en Educación*, 8, 39-54.

Pazo Labrador, AJ e Moragón Arias, MP (2018). O despoboamento en Galicia: visualización da "catástrofe". *AGER. Revista de estudos sobre o despoboamento e o desenvolvemento rural*, 24, 123-154. <https://doi.org/10.4422/ager.2018.02>

Pérez Guilarte, Y., Armas Quintá, FX e Macía Arce, XC (2020) A cartografía temática de Galicia como promotora do turismo cultural e solución didáctica en Xeografía. *Didáctica xeográfica*, 21, 279-290

Pinilla, V. e Sáez, LA (2016). O despoboamento rural en España: xénese dun problema e políticas innovadoras. *CEDDAR*.

Precedo Ledo, A., Míguez Iglesias, A. e Fernández Justo, MI (2008). Galicia, a transición cara a unha sociedade urbana no contexto da Unión Europea. *Revista Galega de Economía* 17 (número extraordinario), 1-20.

Pueyo Campos, A., Zúñiga Antón, M., Postigo Vidal, R., López Escolano, C. e Salinas Solé, C. (2014). Efectos territoriais do envellecemento da poboación: consecuencias multiescalares do cambio demográfico nos concellos españois. En A. López Gay, E. Rojo, M. Solsona, A. Andújar, J. Cruz, R. Iglesias, JM Feria e A. Vahi (eds.), XIV Congreso Nacional de Población. Cambio demográfico e socioterritorial nun contexto de crise, (pp. 29-42). Grupo de poboación AGE.

Rodríguez González, R., López González, A., Fernández Taboada, MA, Martínez López, M. e González Pérez, J. (1999). O despoboamento en Galicia: preocupación ou lóxica territorial. *Torculo*.

Torres Luna, MP e Pazo Labrador, A. J. (1994). Parroquias e arciprestados de Galicia. Servizo de Publicacións da Universidade de Santiago.

Vaquero García, A. e Losa Muñiz, V. (2020). Actuacións dende a Administración Pública para evitar o despoboamento do rural. Que se pode facer dende os concellos e deputacións? *Revista Galega de Economía*, 29 (2), 6723. <http://dx.doi.org/10.15304/rge.29.2.6723>

Xunta de Galicia (2011). Directrices de Ordenación do Territorio. Xunta de Galicia. https://cmatv.xunta.gal/seccion-organizacion/c/CMAOT_Instituto_Estudos_Territorio?content=Direccion_Xeral_Sostibilidade_Paisaxe/Directrices_Ordenacion_Territorio/seccion.html&std=descarga-dot.html



IP. Aide Lasa González

Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo, Departamento de Ecoloxía e Bioloxía Animal, 36310, Vigo, España.

aide.lasa@uvigo.gal

Autores:

**Maidel Justel Díez,
Daniel Fernández Román,
Maria Pérez Lorenzo**

Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo, Departamento de Ecoloxía e Bioloxía Animal, 36310, Vigo, España.

mjustel@uvigo.gal

daniel.fernandez.roman@uvigo.gal

mplorenzo@uvigo.gal, aide.lasa@uvigo.gal.

A plastisfera da Ría de Vigo: estrutura da poboación microbiana, estratexias funcionais e o seu impacto nos ciclos bioxeoquímicos

Resumo

Os microplásticos proporcionan un substrato duradeiro que pode ser colonizado por microorganismos e ser transportados longas distancias, incluíndo especies patóxicas ou a proliferación especies de algas tóxicas. A súa acumulación nas zonas costeiras, como a Ría de Vigo, supón un risco para o ecosistema mariño e as actividades humanas. Este estudo analizou a presenza de microplásticos na Ría de Vigo, as comunidades microbianas asociadas a este, e o seu posible impacto nos ciclos bioxeoquímicos. Os tipos de microplásticos atopados variou en función da zona de mostraxe, así como o número destes, sendo maior na zona central da ría. Os resultados mostraron que as comunidades de fitoplancto asociadas aos microplásticos son diferentes das atopadas na auga de mar circundante, en concreto a abundancia do nanofitoplancto foi inferior nos microplásticos. Pola súa banda, a análise dos metaxenomas permitirá obter o perfil microbiano dos microplásticos e identificar aqueles grupos seleccionados por este microambiente.

Palabras clave

Plastisfera, microplásticos, microbioma, biomasa, fitoplancto, bacteria.

1. Introducción

A contaminación mariña por residuos plásticos constitúe unha das principais fontes de polución oceánica de orixe antropoxénica. A xestión inadecuada dos plásticos leva a que os residuos acaben nos ecosistemas mariños a través do arrastre do vento, cursos fluviais e os vertidos das plantas de tratamento de augas residuais [1]. Esta contaminación constitúe unha gran preocupación, afectando gravemente non só o medio ambiente ao contaminar rías e os ecosistemas mariños e reducir a biodiversidade, senón tamén para a saúde humana polo seu impacto na cadea alimentaria mariña [2]. Os plásticos nos océanos están sometidos a varios factores como a radiación ultravioleta (UV), a calor, a oxidación, a biodegradación e a disrupción mecánica [3], que finalmente descompoñen os plásticos en pequenos fragmentos coñecidos como microplásticos. Os microplásticos defínense universalmente como partículas de plástico que teñen un tamaño inferior aos 5 mm, que poden ser primarios ou secundarios segundo a súa orixe [4]. Os microplásticos primarios se producen como partículas pequenas, como pellets de preproducción ou microperlas, mentres que os microplásticos secundarios proceden da degradación de obxectos de maior tamaño (botellas de auga, cartóns de leite ou redes de pesca). Os microplásticos, como consecuencia da súa gran superficie relación área-volume e estabilidade química relativamente alta, fan que os sexan facilmente colonizados por microorganismos, formando unha biopelícula coñecida como a 'plastisfera' [5]. Os estudos sobre os factores que inflúen nas comunidades microbianas da plastisfera, ata o de agora, produciron resultados inconsistentes. As comunidades microbianas unidas a microplásticos difiren significativamente das que hai na auga do mar circundante [6, 7]. Factores como salinidade, dispoñibilidade de nutrientes, a localización xeográfica e a duración da exposición ao medio, xogan un papel importante na conformación da comunidade da plastisfera [8, 9]. A interacción entre plásticos e os microorganismos mariños ten importantes implicacións ecolóxicas [6]. A degradación plástica pode promover o crecemento microbiano a través de lixiviados, pero tamén pode prexudicar o crecemento bacteriano debido a presenza de compostos tóxicos presentes nos polímeros sintéticos. Ademais, as biopelículas que se forman nos microplásticos considéranse puntos quentes potenciais para transferencia horizontal de xenes. Este proceso pode influír na evolución bacteriana e a difusión de novas características fenotípicas [10].

Os vertidos de microplásticos concéntrase principalmente nas zonas costeiras, onde as augas residuais vértense en estuarios e enseadas semicerradas, como é o caso das Rías Baixas. Nesta rexión, a problemática agrávase ao coexistir estes vertidos co cultivo de moluscos bivalvos. Un estudio recente levado a cabo na Ría de Vigo demostrou que o principal fonte de microplásticos nesta zona tratábase, de feito, da planta de tratamento de augas residuais de Vigo, resultando nunha maior concentración destes contaminantes na costa sur da ría. Por outra banda, a parte máis interna da ría era a que tiña menor concentración de microplásticos [11]. Reguera e col. [12] mediron por primeira vez o contido en microplásticos presente en mexillóns (*Mitylus* spp.) recollidos na Ría de Vigo,

mostrando que, en promedio, os mexillóns contiñan 1.59 microplásticos por gramo de peso sendo a maior concentración na costa sur da ría.

A pesar do crecente interese nos microplásticos e a súa microbiota asociada, até agora non se realizaron estudos enfocados á análise da comunidade microbiana dos microplásticos que se atopan na Ría de Vigo, así como as estratexias funcionais e o seu impacto nos ciclos bioxeoquímicos. Comprender a ecoloxía do microbioma dos microplásticos pode axudar a facilitar cambios nas políticas ambientais e mellorar os esforzos para mitigar a contaminación plástica mariña. Así, o obxectivo principal deste estudo foi a de determinar as diferencias nas comunidades de fitoplancto e bacterias dos microplásticos respecto da auga de mar circundante.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudio

A Ría de Vigo atópase no sistema costeiro do noroeste da Península Ibérica na que na primavera e verán, os ventos do norte son dominantes producindo afloramentos de auga rica en nutrientes, aumentando a produción primaria. No outono e inverno prevalecen os ventos do sur (momento no que se levou a cabo a mostraxe), e os eventos de derrube xeran mestura vertical diminuindo a produción primaria [13]. Na mostraxe dividiuse a Ría de Vigo en dúas zonas diferentes (Fig. 1), Enseada de San Simón (A) e Zona central (B) onde se realizaron dous transectos nas que se recolleron os microplásticos da capa superficial da auga e tres mostras da auga de mar superficial. Para avaliar as condicións hidrográficas das mostraxes e dos días previos, realizárase unha simulación hidrodinámica usando o modelo (Coastal and Regional Ocean COmmunity model). Este é modelo hidrodinámico (3D) inclúe todas as variables físicas, e ofrece maior resolución en superficie (onde hai mais variabilidade) con unha resolución de 500 metros por celda. A utilización deste modelo permitirá saber con precisión, as condicións hidrográficas, circulación e mezcla da Ría no momento da mostraxe.

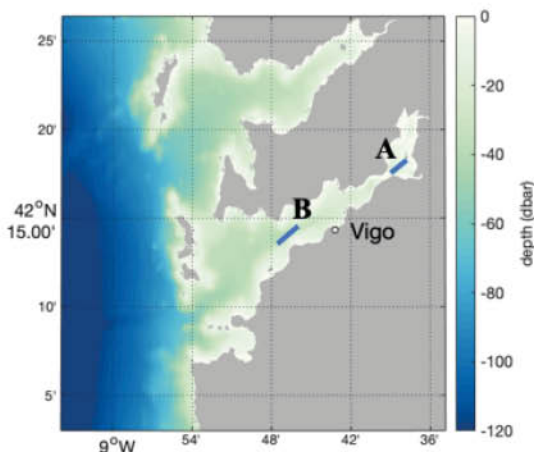


Figura 1. Puntos de mostraxe de microplásticos e auga de mar.

2.2 Mostraxe de microplásticos e auga de mar

Para a obtención dos microplásticos empregouse unha rede de plancto modificado para a recolección de microplásticos que conta cunha malla de 330 μ m de tamaño de poro (Fig. 2). Ao final da rede se atopa un colector onde quedan retidas as partículas para o seu posterior estudio.



Figura 2. Rede de microplásticos empregado na mostraxe.

Dos residuos atopados na rede, seleccionáronse manualmente aqueles fragmentos plásticos cun tamaño igual ou inferior aos 5 mm. En cada transecto a velocidade da embarcación reduciuse a 2-3 nudos para evitar que a rede e o colector colapsaran e o tempo de mostraxe foi de 15-20 minutos. Ademais, en cada zona de mostraxe (A e B) recolléronse tres mostras da auga superficial que se filtrou por unha malla de 300 μ m para evitar o paso de partículas plásticas que puideran interferir nas análises posteriores.

2.3 Concentración de clorofila a

Mediuse a concentración de clorofila a (Chl a) para estimar a biomasa de fitoplancto. Tomouse un volume de 250 ml de auga e filtrouse a través de filtros de policarbonato de 0,2 μ m. Nas mostras de microplásticos engadíronse 1,5 ml de auga de mar filtrada estéril. Os filtros e microplásticos almacenáronse a -20 °C en escuridade ata o seu procesamento. Os pigmentos retidos nos filtros e nos microplásticos extraéronse con acetona ao 90% a 4°C durante a noite en escuridade. Para a cuantificación da Chl a nos microplásticos realizáronse as medidas de tres partículas individuais de 5 mm de lonxitude. A fluorescencia de Chl a determinouse utilizando un fluorómetro TD-700 Turner Designs calibrado cunha solución estándar de Chl a pura, empregando a técnica de non acidificación [14], e utilizouse o coeficiente de absorción de 87,7 a 663 nm [15].

2.4 Abundancia bacteriana e fitoplancto (citometría de fluxo)

As mostras para a abundancia bacteriana (AB) e a abundancia de fitoplancto determináronse utilizando 1,75 ml de mostra de auga de mar conservadas con 1 % (vol/vol) e 0,05 % (vol/vol) de fixador de paraformaldehído e glutaraldehído (P+G). Para determinar a AB e de fitoplancto nas mostras de microplásticos utilizáronse 1,75 ml de auga de mar filtrada estéril e conservouse con 1 % (vol/vol) e 0,05 % (vol/vol) de fixador (P+G). As mostras conxeláronse inmediatamente en nitróxeno líquido e almacenáronse a -80 °C ata a análise. Antes da análise, os procariotas se tinguíronse con fluorocromo de ADN SybrGreen ao 10 % (vol/vol) [16]. Para cuantificar a abundancia bacteriana utilizouse cun láser que emite a 488 nm e a abundancia de fitoplancto determinouse mediante autofluorescencia (utilizando os detectores PerCP e PE), empregando o citómetro de

fluxo CytoFLEX-S cun láser que emite a 638 nm. Os datos de abundancia foron analizados estatisticamente empregando o software R e Rstudio. Despois de comprobar a normalidade dos datos (Shapiro-Wilk test) e homoxeneidade de varianzas (Levene test), realizouse a análise de varianzas (ANOVA).

3. Resultados

3.1 Caracterización dos microplásticos

Os fragmentos plásticos recolléronse coa rede de microplásticos nas zonas de estudo, enseada de San Simón (A) e a zona central de ría (B), seleccionándose aqueles fragmentos con un tamaño igual ou inferior aos 5 mm para a súa posterior análise. Estes mostraron unha alta variabilidade tanto en número como en tipoloxía (Fig. 3).

Na enseada de San Simón, o número de microplásticos atopados foi moi reducido, menos de 50 fragmentos con un tamaño inferior a 5 mm. No caso da zona central da ría o número de microplásticos recollidos foi moi grande e con maior diversidade de compostos (Fig. 3). Os microplásticos recollidos na enseada de San Simón (Fig. 3A) correspondéronse, principalmente, con fragmentos de plástico duro e nailon procedente de redes ou aparellos de pesca. Entre os microplásticos recollidos na zona central de ría (Fig. 3B), aparecen fragmentos moi diversos incluíndo anacos de poliespan, microplásticos duros e brandos, fíos de nailon e tela, etc. Estes resultados coinciden coas observacións realizadas noutros traballos centradas no estudo da distribución de microplásticos na Ría de Vigo [11], onde se observou baixa concentración de microplásticos na enseada de San Simón. Isto

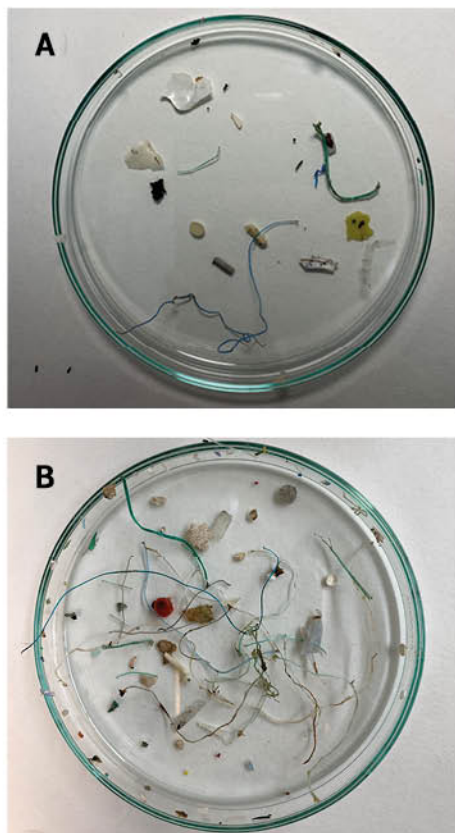


Figura 3. Microplásticos recollidos na enseada de San Simón (A) e zona central (B).

podería explicarse pola maior cantidade de materia orgánica presente na zona mais interna da Ría e que forman agregados, aumentando así a súa densidade provocando a súa sedimentación no fondo mariño e diminuíndo así a súa concentración na capa superficial da auga.

3.2 Concentración de clorofila

As medidas de Chl *a* demostraron a presenza de microorganismos fotosintéticos unidos aos microplásticos (Táboa 1). As concentracións medidas nas partículas plásticas variaron moito en función do microplástico e do tamaño, mentres que as concentracións de Chl *a* na auga de mar foron mais homoxéneas no rango de 0,00209 a 0,0062 mg/m³. Os resultados tamén mostran a presenza de maior biomasa na enseada de San Simón respecto da zona central.

| Mostra | Chl <i>a</i> | Zona mostraxe | Tipo de mostra |
|--------|---------------------------|----------------|----------------|
| A1 | 0,0041 mg/m ³ | San Simón | Auga de mar |
| A2 | 0,0045 mg/m ³ | San Simón | Auga de mar |
| A3 | 0,0062 mg/m ³ | San Simón | Auga de mar |
| B1 | 0,00209 mg/m ³ | Central da ría | Auga de mar |
| B2 | 0,00273 mg/m ³ | Central da ría | Auga de mar |
| B3 | 0,00290 mg/m ³ | Central da ría | Auga de mar |
| MP1 | 199 mg/m ² | Central da ría | Microplástico |
| MP2 | 57 mg/m ² | Central da ría | Microplástico |
| MP3 | 19 mg/m ² | Central da ría | Microplástico |

Táboa 1. Concentracións de Clorofila *a* medidas en auga de mar e microplásticos.

Asumindo as concentracións de Chl *a* medidas na columna de auga en cada estación e as concentracións de Chl *a* nos microplásticos, unha partícula esférica de plástico con diámetro de 5 mm contén a mesma cantidade de clorofila que un aproximadamente entre 1 L e 3 L de auga de mar. A pesar da dificultade de medir con exactitude os microplásticos e calcular o seu volume, a alta densidade de Chl *a* observada nos microplásticos suxiren unha contribución importante destes microambientes na produción primaria das rías. Estes resultados aseméllanse aos obtidos noutros estudos nos que a concentración de Chl *a* medida nos microplásticos resultaron, en proporción, mais grandes [17].

3.3 Poboacións de fitoplancto e bacterias

A cuantificación das poboacións de fitoplancto e bacterias mediante citometría de fluxo confirmaron a presenza de microorganismos fotosintéticos nos microplásticos e permitiu identificar os principais grupos asociados a estes. As poboacións detectadas foron as mesmas en auga de mar e nos microplásticos, sendo menos abundantes nos microplásticos, compostas por poboacións de *Synechococcus*, Nanofitoplancto (2-20 μm), Picofitoplancto (0,2-2 μm), Criptofíceas e Bacterias. Ademais, o análise estatístico ANOVA mostrou que as abundancias de *Synechococcus* e Nanofitoplancto eran significativamente inferiores nos microplásticos ($p < 0,05$), especialmente no caso do Nanofitoplancto.

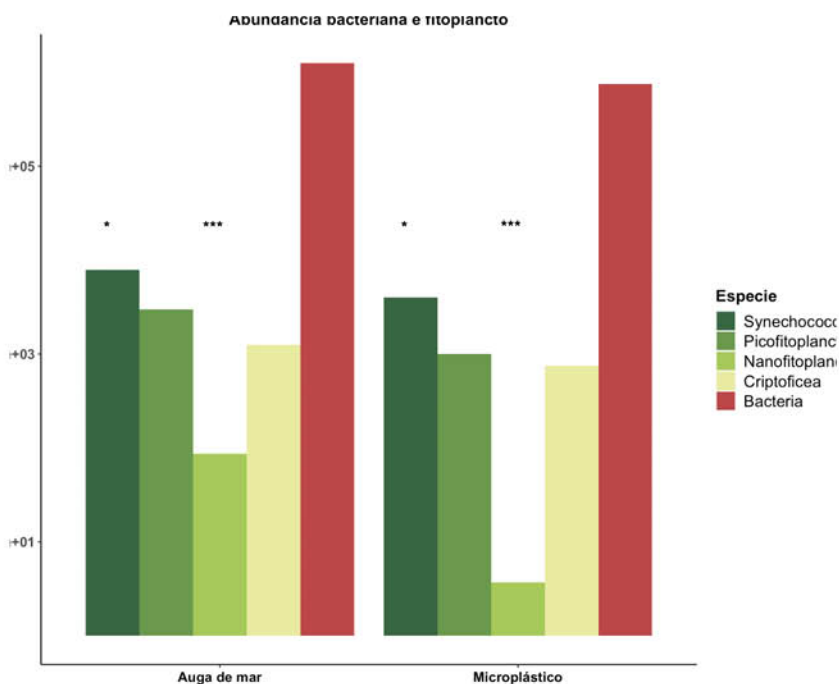


Figura 4. Abundancias das poboacións de fitoplancto e bacterias nas mostras de auga de mar e microplásticos. Os * indican diferenzas estadisticamente significativas nas abundancias.

O fitoplancto é a base da cadea trófica incorporando CO_2 na fotosíntese e que será consumido polo zooplancto posteriormente, alimento a súa vez de outros organismos mariños. O zooplancto se pode alimentar de microplásticos, debido ao seu pequeno tamaño, acumulándoos no seus tecidos, evitando, en consecuencia, que estes inxiran fitoplancto directamente. Ademais, a formación de agregados dos microplásticos e comunidades microbianas diminúe a súa flotabilidade provocando que estes afundan, transportando o fitoplancto e bacterias dende a superficie ata o fondo mariño, reducindo a captación de CO_2 atmosférico, e potencialmente afectando aos organismos do fondo mariño, que desempeñan funcións importantes nos ciclos bioxeoquímicos, como o carbono ou nitróxeno [18, 19].

4. Conclusións

Os resultados obtidos confirmaron diferencias nas comunidades de fitoplancto asociadas aos microplásticos da Ría de Vigo, sendo menos abundantes *Synechococcus* e o nanofitoplancto. Ademais, a concentración de clorofila foi proporcionalmente superior nos microplásticos. A análise que se está a realizar dos metaxenomas permitirá obter o perfil taxonómico e funcional microbiano dos microplásticos e determinar as diferencias respecto da auga de mar.

5. Agradecementos

Aide Lasa agradece a axuda IJC2020-04525-I/MCIN/AEI/10.13039/501100011033 financiada polo MCIN/AEI/10.13039/501100011033 e a "Unión Europea NextGenerationEU"/PRTR. Daniel Fernández Román agradece a axuda predoutoral FPU (FPU2021/04749) do Ministerio de Universidades.

Referencias

- Cózar, A.; Echevarría, F.; González-Gordillo, J.I.; Irigoien, X.; Ubeda, B.; Hernández-León, S.; Palma, A.T.; Navarro, S.; García-de-Lomas, J.; Ruiz, A.; Fernández-de-Puelles, M.L.; Duarte, C.M. Plastic debris in the open ocean. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2014 Jul 15;111(28):10239-44. doi: 10.1073/pnas.1314705111.
- Wright, R.J.; Erni-Cassola, G.; Zadjelovic, V.; Latva, M.; Christie-Oleza, J.A. Marine Plastic Debris: A New Surface for Microbial Colonization. *Environ Sci Technol*. 2020 Oct 6;54(19):11657-11672. doi: 10.1021/acs.est.0c02305.
- Shim, W.J.; Hong, S.H.; Eo, S.E. Identification methods in microplastic analysis: a review. *Anal Methods*. 2017, 9, 1384–1391. doi.org/10.1039/C6AY02558G.
- Frias, J.P.G.L.; Nash, R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Mar Pollut Bull*. 2019 Jan;138:145-147. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.022.
- Zettler, E.R.; Mincer, T.J.; Amaral-Zettler, L.A. Life in the "plastisphere": microbial communities on plastic marine debris. *Environ Sci Technol*. 2013 Jul 2;47(13):7137-46. doi: 10.1021/es401288x.
- Oberbeckmann, S.; Osborn, A.M.; Duhaime, M.B. Microbes on a Bottle: Substrate, Season and Geography Influence Community Composition of Microbes Colonizing Marine Plastic Debris. *PLoS One*. 2016 Aug 3;11(8):e0159289. doi: 10.1371/journal.pone.0159289.
- Dudek, K.L.; Neuer, S. Environmental exposure more than plastic composition shapes marine microplastic-associated bacterial communities in Pacific versus Caribbean field incubations. *Environ Microbiol*. 2023 Dec;25(12):2807-2821. doi: 10.1111/1462-2920.16519
- Oberbeckmann, S.; Kreikemeyer, B.; Labrenz, M. Environmental Factors Support the Formation of Specific Bacterial Assemblages on Microplastics. *Front Microbiol*. 2018 Jan 19;8:2709. doi: 10.3389/fmicb.2017.02709.
- Zhang, S.J.; Zeng, Y.H.; Zhu, J.M.; Cai, Z.H.; Zhou, J. The structure and assembly mechanisms of plastisphere microbial community in natural marine environment. *J Hazard Mater*. 2022 Jan 5;421:126780. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126780.

Arias-Andres, M.; Klümper, U.; Rojas-Jimenez, K.; Grossart, H.P. Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environ Pollut.* 2018 Jun;237:253-261. doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.058.

Sousa, M.C.; de Castro, M.; Gago, J.; Ribeiro, A.S.; Des, M.; Gómez-Gesteira, J.L.; Dias, J.M.; Gomez-Gesteira, M. Modelling the distribution of microplastics released by wastewater treatment plants in Ría de Vigo (NW Iberian Peninsula). *Mar Pollut Bull.* 2021 May;166:112227. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112227.

Reguera, P.; Viñas, L.; Gago, J. Microplastics in wild mussels (*Mytilus* spp.) from the north coast of Spain. *Sci. mar.* 2019 Dec. 30 83(4):337-4.

Nogueira, E.; Pérez, F.F.; Ríos, A.F. Seasonal patterns and long-term trends in an estuarine upwelling ecosystem (Ría de Vigo, NW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997; pp 44(3), 285–300.

Welschmeyer, N.A. Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. *Limnol Oceanogr.* 1994, 39:1985–1992. doi.org/10.4319/lo.1994.39.8.1985.

Lorenzen, C.J.; Newton Downs, J. The specific absorption coefficients of chlorophyllide a and pheophorbide a in 90% acetone, and comments on the fluorometric determination of chlorophyll and pheopigments. *Limnol Oceanogr.* 1986, 31:449–452. doi.org/10.4319/lo.1986.31.2.0449.

Gasol, J.M.; Del Giorgio, P.A. Using flow cytometry for counting natural planktonic bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities. *Sci Mar.* 2000, 64:197-224. doi.org/10.3989/scimar.2000.64n2197.

Bryant, J.A.; Clemente, T.M.; Viviani, D.A.; Fong, A.A.; Thomas, K.A.; Kemp, P.; Karl, D.M.; White, A.E.; DeLong, E.F. Diversity and Activity of Communities Inhabiting Plastic Debris in the North Pacific Gyre. *mSystems.* 2016 May 17;1(3):e00024-16. doi: 10.1128/mSystems.00024-16.

Seeley, M.E.; Song, B.; Passie, R.; Hale, R.C. Microplastics affect sedimentary microbial communities and nitrogen cycling. *Nat Commun* 11, 2372 (2020). doi.org/10.1038/s41467-020-16235-3

Raju, P.; Santhanam, P.; Pandian, S.S.; Divya, M.; Arunkrishnan, A.; Devi, K.N.; Ananth, S.; Roopavathy, J.; Perumal, P. Impact of polystyrene microplastics on major marine primary (phytoplankton) and secondary producers (copepod). *Arch Microbiol.* 2021 Dec 27;204(1):84. doi: 10.1007/s00203-021-02697-6.

Proxectos de investigación financiados pola Excma. Deputación de Pontevedra á Universidade de Vigo *2023*

Universidade de Vigo





