

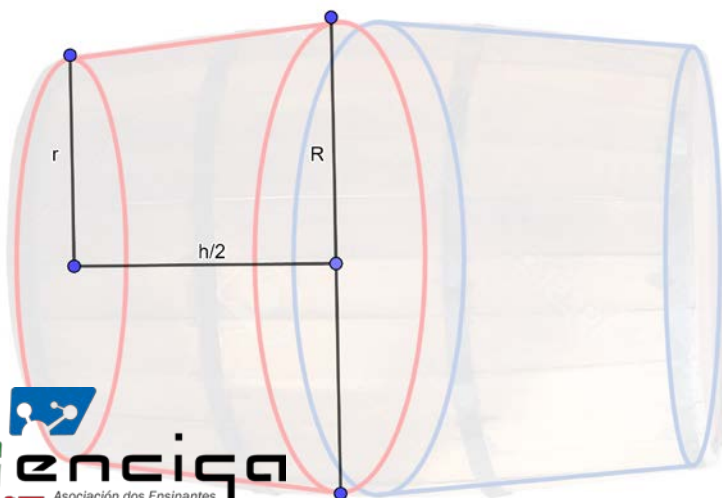
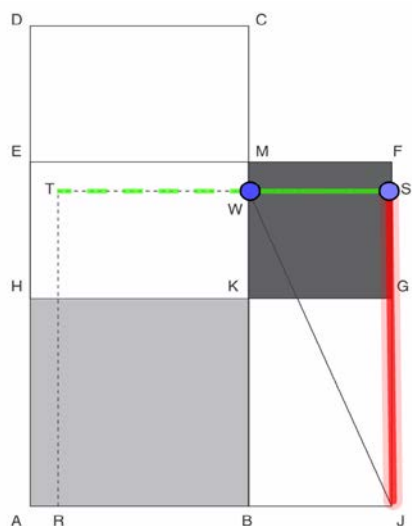
ANO XXXIII

Nº 89

MAIO 2020



Boletín das Ciencias



BOLETÍN DAS CIENCIAS

ANO XXXII, Nº 89

Maio 2020

Enderezos:

boletin@enciga.org
ENCIGA
Facultade de Ciencias
Avda. Alfonso X
27002 Lugo

Maquetación e deseño:

CienciaNOSA

Edita:

ENCIGA (Asociación dos
Ensinantes de Ciencia de
Galicia)

Xunta Directiva:

Presidenta:
M. Inés García Seijo
Vicepresidenta:
Beatriz Fernández Fernández
Secretaria:
Paloma Blanco Anaya
Tesoureira:
Iria Fernández Fontenla

Imprenta: Unicopia
ISSN: 0214-7807
Dep. Legal: C 625-1988
Tirada: 2000 exemplares

Presentación

Este número do Boletín das Ciencias verá a luz tras a crise sanitaria ocasionada polo COVID-19. Este virus puxo á nosa sociedade contra as cordas facéndonos ver cales eran os eslabóns máis importantes da mesma, entre eles A Ciencia.

A ciencia levaba tempo alertando dunha posible epidemia desta magnitude, pero non só iso, o coñecemento científico de súpeto pasou a ser valorado pola sociedade como a solución para resolver un problema de tal magnitude... Lonxe do rencor que podería ter a comunidade científica pola falta reiterada de investimento en I+D+i e a precariedade laboral, púxose a traballar para coñecer mellor o virus e na procura dunha vacina, a comunidade matemática creou modelos que permiten prever como evolucionará a enfermidade en diferentes escenarios e a sanitaria aplicou todos estes coñecementos para salvar vidas. Estamos pois, ante un escenario no que ser unha científica ou científico ten o recoñecemento que debería ter dende sempre.

No eido educativo esta crise tamén tivo o seu impacto, pois esixiu un esforzo á comunidade educativa por adaptarnos a unha educación a distancia e achegar aos estudantes ferramentas coas que sexan capaces de comprender todo o coñecemento científico que se está a escoitar durante estes días na prensa. Esas innovacións educativas coas que fixemos posible que o alumnado mantivese unha educación de calidade, en especial vencellada ás ciencias e ás matemáticas, paga moito a pena compartilas. Compartir o coñecemento non é só importante na investigación científica, senón tamén na educación, os docentes estamos a facer tarefas, investigacións cos nosos estudantes e incluso investigacións científicas que merecen ser compartidas. Por iso, queremos que o próximo número deste Boletín sexa adicado a eses traballos que queirades publicar relacionados co coronavirus.

Co gallo de animarvos a enviar os vosos traballos, para o próximo número ou para os seguintes, elaboramos unhas novas pautas de publicación e establecemos tres seccións de contidos:

- *Educación científica e matemática* que inclúe traballos de carácter teórico ou empírico.
- *Experiencias e materiais docentes* para a educación en ciencias e matemáticas, sección destinada á presentación e discusión de propostas didácticas que resulten novidosas.
- *Outros*: como recensións de traballos, resumos de congresos, e calquera outro traballo que non tivese cabida nas seccións anteriores

Estas novas pautas, non pretenden encorsetar os vosos traballos, senón servir de axuda para elaborar as vosas publicacións, orientándovos sobre a extensión e estrutura. Podedes atopalas en detalle na nosa páxina web (enciga.org).

Animádevos a compartir os vosos traballos!!

A Xunta Directiva

contido

NOMENCLATURA ORGÁNICA: A SITUACIÓN DOS LOCALIZADORES ACTUALMENTE PREFERIDA POLA IUPAC Natalia Abelenda Lameiro.....	7
A UTILIDADE DOS PUNTOS CUÁNTICOS Manuel R. Bermejo, Ana M. González-Noya, Marcelino Maneiro, Rosa Pedrido.....	11
O VALOR DA PRESIÓN ESTÁNDAR RECOMENDADO POLA IUPAC E AS SÚAS IMPLICACIÓNS NA DIDÁCTICA DA QUÍMICA Natalia Abelenda Lameiro.....	31
PROPOSTA DIDÁCTICA E DESEÑO DUN EXPERIMENTO SOBRE A FORZA DE ROZAMENTO EN SUPERFICIES Ismael Cabodevila Pividal, María J. Romero.....	37
MULLERES E STEM TECNOLÓXICO: ESTADO DA CUESTIÓN SOBRE A ELECCIÓN DE TRAXECTORIAS ACADÉMICO-PROFESIONAIS Rocío Núñez Díaz, Xesús Ferreiro Núñez.....	47
ITINERARIOS DE ISIDRO PARGA PONDAL PARA O CARTOGRAFADO XEOLÓXICO DE LAXE Francisco J. Leonardo Docanto.....	67
PROBAS DA CHEGADA DO ANTROPOCENO Constantino Armesto, Sara González Crespo.....	89
HISTORIA DAS MATEMÁTICAS Iria Fernández Fontenla.....	105
SEMINARIO PARA A ANÁLISE E PROPOSTAS SOBRE O CURRÍCULUM DE MATEMÁTICAS NO BACHARELATO Benjamín Macía Fernández.....	119
XUVENCIENCIA, CANDO FEDELLAR É O COMEZO DO PENSAMENTO CRÍTICO Wajih Al-Soufi, Ramiro Barcia Viéitez, Ana Cabana Iglesia, Jorge Dafonte Dafonte, Juan Luis Fernández Lorenzo, Elena Freire Paz, Miguel Ángel González García, Pablo González Sequeiros, Marta López Alonso, Francisco Javier López González, Ana Paula Losada García, Marta Portela Maseda, María Isabel Quiroga Berdeal, Montserrat Valcárcel Armesto, Manuel Vera Rodríguez, Mercedes Novo Rodríguez.....	123
A COSTELA DE ADÁN (Conto matemático) Antom Labranha.....	137
A CONFERENCIA DO PROFESOR SCHRÖDINGER Constantino Armesto Ramón.....	139

NOMENCLATURA ORGÁNICA: A SITUACIÓN DOS LOCALIZADORES ACTUALMENTE PREFERIDA POLA IUPAC

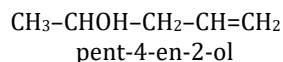
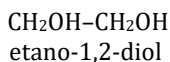
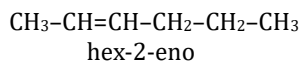
ABELENDALAMEIRO, NATALIA

IES Terra de Soneira. Vimianzo

1. INTRODUCCIÓN: A IUPAC E OS PINs

A IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) defínese a si mesma como unha organización científica neutral e obxectiva, autoridade mundial en nomenclatura e terminoloxía química.

No ano 1993 a IUPAC publicou novas recomendacións relativas á Nomenclatura da Química Orgánica que modifican en parte ás xa establecidas no ano 1979. Unha das novidades que se aportan é a de situar os localizadores (numerais e/ou letras) inmediatamente antes da parte do nome co cal se relacionan, agás no caso de formas contraídas tradicionais. As recomendacións máis recentes da IUPAC para a Nomenclatura da Química Orgánica (2013) seguen mantendo a citada consideración nos nomes preferidos pola mesma (os denominados PINs pola súa abreviatura do inglés: preferred IUPAC names). Deste xeito os PINs para os seguintes compostos do carbono son:



2. A NOMENCLATURA ORGÁNICA NA ESO E NO BACHARELATO

Ao analizar os libros de texto de Química e de Física e Química de diferentes editoriais vixentes nas ensinanzas preuniversitarias na segunda metade da década dos 90 non se observa a situación dos localizadores preferida pola IUPAC dende 1993.

Xa na primeira década do século XXI as novas leis educativas motivarían renovadas propostas curriculares por parte dos proxectos editoriais, algúns dos cales acabarían aproveitando para presentar xunto coa versión antiga da situación dos localizadores tamén a actualmente preferida pola IUPAC case sempre nun discreto segundo lugar.

Dende a entrada en vixencia curricular da LOMCE no curso 2015/16 obsérvase nas novas propostas editoriais consultadas a consideración de forma única ou preferente da actual situación dos localizadores recomendada pola IUPAC.

Dado que a maioría dos compostos orgánicos que se estudan na educación secundaria teñen un só grupo funcional pode non apreciarse a vantaxe da actual situación do localizador da función e si o inconveniente dunha pronunciación menos fluída (hex-2-eno fronte a 2-hexeno). Sen embargo, cando existen varias funcións orgánicas a actual situación do localizador resulta máis precisa: pent-4-en-2-ol fronte a 4-penten-2-ol.

3. A NOMENCLATURA ORGÁNICA NAS PROBAS ABAU

Unha análise dos enunciados das probas de Química da ABAU (Galicia) dos últimos anos permite observar a utilización exclusiva da versión antiga da situación dos localizadores na nomenclatura dos compostos orgánicos (2017 e 2018). Esta situación varía cando se analizan os enunciados das probas de avaliación do bacharelato para o acceso á universidade doutros lugares do estado.

Na seguinte táboa resúmese o tipo de nomenclatura empregada nas diferentes comunidades autónomas nos tres últimos anos (2017, 2018 e 2019). Cando non aparece o nome de ningún composto do carbono con situación dos localizadores nos enunciados das probas que permita concluír a versión da nomenclatura indícase na táboa cunha raia:

Táboa 1. *Nomenclatura orgánica nas probas ABAU por comunidades autónomas*

	ABAU 2017	ABAU 2018	ABAU 2019
Galicia	antiga	antiga	-
Asturias	antiga (actual)	antiga (actual)	antiga (actual)
Cantabria	antiga	antiga	antiga
País Vasco	antiga (actual)	actual	actual [xuño] antiga [xullo]
Navarra	-	-	actual
Aragón	-	-	-
Cataluña	-	-	actual
Castela e León	antiga	actual (antiga) [xuño] antiga (actual) [xullo]	antiga (actual)
A Rioxa	-	-	actual
Madrid	actual	actual	actual
Extremadura	actual	actual	-
Castela-A Mancha	antiga (actual)	-	actual
Comunidade Valenciana	antiga	-	antiga
Illas Baleares	antiga	-	-
Andalucía	actual	actual	actual
Rexión de Murcia	actual	actual	actual
Illas Canarias	antiga (actual)	1 grupo funcional: antiga 2 grupos funcionais: actual (antiga)	antiga (actual)

Tal e como pode apreciarse existen comunidades como Madrid, Andalucía, Murcia, Extremadura, A Rioxa e Navarra onde se utilizou exclusivamente durante os tres últimos anos o sistema de situación dos localizadores actualmente preferido pola IUPAC (hex-2-eno por exemplo). Cataluña empregou este actual sistema de situación dos localizadores non de forma exclusiva pero si claramente preferente, só cunha mínima referencia á versión antiga.

Castela-A Mancha, País Vasco, Asturias e as Illas Canarias consideraban no ano 2017 as dúas versións da nomenclatura, indicando a actual entre paréntese: 2-hexeno (hex-2-eno). Dous anos despois Castela-A Mancha xa só utiliza a situación dos localizadores actualmente preferida pola IUPAC. O País Vasco tamén mudou ao uso exclusivo da nomenclatura actual no 2018 (aínda que sorprendentemente nunha das probas do ano 2019 aparece a versión antiga da nomenclatura). Pola súa banda, Asturias e as Illas Canarias seguen mantendo en 2019 as dúas versións ao igual que en 2017. Curioso é o caso de Canarias no ano 2018 cando utiliza a versión antiga para os compostos cunha soa función orgánica e a versión actual (coa antiga entre paréntese) para un composto que tiña dous grupos funcionais.

Castela e León, que usaba unicamente o sistema antigo de situación dos localizadores no ano 2017, acabou incorporando o actual nos anos 2018 e 2019.

Os outros catro territorios fieis ao uso exclusivo da versión antiga no 2017 eran: Galicia, Cantabria, Comunidade Valenciana e Illas Baleares. En 2019 Cantabria e a Comunidade Valenciana manteñen aínda a utilización única do sistema antigo. Nos enunciados das probas de Galicia e Illas Baleares do ano 2019 non aparecen nomes de compostos do carbono que permitan concluír a versión da nomenclatura pola que se decantarían.

Pola súa banda, a análise dos enunciados das probas ABAU dos tres últimos anos non permite coñecer o enfoque da comunidade de Aragón.

4. A NOMENCLATURA ORGÁNICA NA UNIVERSIDADE

Na universidade conviven ambos sistemas de nomenclatura, estando particularmente presente aínda a antiga no traballo rutineiro con compostos monofuncionais.

Cando se analiza a bibliografía básica de referencia que figura actualmente na programación das materias de Química Orgánica do grao en Química da Universidade de Santiago de Compostela a situación é a seguinte: atopamos un libro (Vollhardt e Schore, 2008) que utiliza unicamente a antiga situación dos localizadores; outro (Solomons, Fryhle e Snyder, 2014) que considera ambas e finalmente aqueles nos que xa só figura a nova situación dos localizadores preferida pola IUPAC (Clayden, Greeves e Warren, 2012; Quiñoá e Riguera, 2005; Quiñoá e Riguera, 2004). A modo de curiosidade cabe apuntar que os autores dos dous primeiros libros -nos que persiste a antiga situación dos localizadores- traballan en universidades norteamericanas e os restantes en universidades europeas. En concreto os autores dos últimos libros mencionados -Emilio Quiñoá e Ricardo Riguera- son catedráticos de Química Orgánica da Universidade de Santiago de Compostela.

Así mesmo, a versión actualizada dos programas de debuxo de moléculas orgánicas como o ChemDraw ten incorporada a nova situación dos localizadores preferida pola IUPAC.

5. NA PROCURA DUNHA PROPOSTA UNÁNIME

Un ensino da química sustentado no máximo rigor científico parece que non debería ignorar as últimas recomendacións establecidas por unha autoridade mundial en nomenclatura química como é a IUPAC. As propostas editoriais actuais para ESO e Bacharelato van neste sentido e cada vez máis comunidades

seguen estas recomendacións da IUPAC nos enunciados das probas de Química da ABAU. Sen embargo, nalgúns territorios -entre os que se atopa Galicia¹¹- todavía non aparecen reflectidas.

A versión antiga da situación dos localizadores resulta probablemente máis doada de asimilar e suficientemente operativa no caso dos compostos cun só grupo funcional. Mais aínda neste caso o alumnado que prosiga estudos superiores relacionados coa química acabará atopándose na universidade con recursos que empregan as actuais recomendacións da IUPAC.

Ante a presente situación parece resultar inevitable a consideración polo de agora de ambas versións da nomenclatura orgánica na ensinanza da química orgánica dos niveis preuniversitarios en territorios como o galego. Un cometido máis dentro dos amplos programas curriculares de 4º ESO e do Bacharelato. O tempo determinará se é posible chegar a unha desexable unanimidade no uso dunha nomenclatura preferente para os compostos do carbono ao longo de todo o sistema educativo galego. Neste sentido sería recomendable o establecemento dunha sinerxía entre o conxunto do profesorado de secundaria e o da universidade.

6. REFERENCIAS

- CLAYDEN J., GREEVES N. e WARREN S. (2012). *Organic Chemistry*. 2ª ed. Oxford: Oxford University Press.
- IUPAC -preparado por Rigaudy J. E Klesney S. P.- (1979). *Nomenclature of Organic Chemistry, Sections A, B, C, D, E, F, and H*. Oxford: Pergamon Press.
- IUPAC, Commission on Nomenclature of Organic Chemistry -preparado por Panico R., Powell W. H. e Richer J. (1993). *A Guide to IUPAC Nomenclature of Organic Compounds (Recommendations 1993)*. Oxford; Boston: Blackwell Scientific Publications.
- IUPAC, Division of Chemical Nomenclature and Structure Representation -preparado por Favre, Henri A. e Powell, Warren H.- (2014). *Nomenclature of Organic Chemistry. IUPAC Recommendations and Preferred Names 2013*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- QUIÑOÁ, E e RIGUERA R. (2005). *Nomenclatura y representación de los compuestos orgánicos. Una guía de estudio y autoevaluación*. Madrid: McGraw-Hill.
- QUIÑOÁ, E e RIGUERA R. (2004). *Cuestiones y ejercicios de Química Orgánica. Una guía de estudio y autoevaluación*. Madrid: McGraw-Hill.
- SOLOMONS G., FRYHLE C. E SNYDER S. (2014). *Organic Chemistry*. International Student Versión. 11ª ed. New York: Wiley.
- VOLLHARDT, K. P. C. e SCHORE N. E. (2008). *Química Orgánica. Estructura y función*. 5ª ed. Barcelona: Omega.

Foron obxecto de consulta ademais diferentes edicións dos libros de Química e de Física e Química de educación secundaria das editoriais sm, Santillana, Rodeira ou Oxford, os portais web de educación das diferentes comunidades autónomas, o portal da IUPAC (<https://iupac.org>) e o da Universidade de Santiago de Compostela (<http://www.usc.es>).

¹ Esta situación foi trasladada ao grupo de traballo de Química da CIUG durante o curso académico 2017/2018. Agradécese que fose tida en consideración dalgún xeito e durante o curso 2018/2019 dito grupo emitira unha nova versión das indicacións para a formulación onde recolle de xeito explícito o seguinte: "As recomendacións da nomenclatura de química orgánica da IUPAC do 1993 modifican as anteriores do 1979. Consiste en indicar a posición da insaturación ou grupo funcional inmediatamente antes da terminación do nome. Nas PAU-2019 acéptase calquera delas.". A continuación achega cinco exemplos de compostos orgánicos con insaturacións e/ou grupos funcionais coas correspondentes nomenclaturas segundo ambas versións de 1979 e 1993.

A UTILIDADE DOS PUNTOS CUÁNTICOS

BERMEJO, MANUEL R.
GONZÁLEZ-NOYA, ANA M.
MANEIRO, MARCELINO
PEDRIDO, ROSA

*Departamento de Química Inorgánica
Universidade de Santiago de Compostela*

1. INTRODUCCIÓN

O estudo dos Nanomateriais Metálicos é un capítulo moi interesante e moderno no desenvolvemento dos novos materiais inorgánicos. Nun número anterior do noso Boletín [González et al, 2017] dabamos conta de como era a química dos Nanomateriais Inorgánicos e, de modo particular, presentabamos cales eran os efectos cuánticos que neles se producían cando unha luz con lonxitude de onda cativa incidía sobre as partículas metálicas de dimensión nanométrica.

O mundo nanométrico é un dos mundos actuais de investigación máis activos debido a que as propiedades destes materiais nanométricos derivan en gran parte do confinamento cuántico dos seus electróns externos, o que determina propiedades ópticas, eléctricas, espectroscópicas, ...etc, de enorme importancia. Ao mesmo tempo, e por mor do seu tamaño, estes nanomateriais son comparables nas súas propiedades ás moléculas máis grandes pero son moito máis cativas que o mundo das células, polo que convenientemente conxugadas (camufladas), poderían penetrar no interior das mesmas células e interaccionar con elas. Deste xeito serían quen de achegar especies farmacoloxicamente activas no núcleo ou nas mitocondrias de moitas células enfermas, curándoas ou matándoas.

Todo o devandito determina o gran interese destes nanomateriais no mundo da biomedicina, da bioimaxe, do transporte de medicamentos no interior dos organismos vivos, da fototerapia, no seu uso como sensores químicos, na análise química, como biosensores,...etc.

Noutro traballo publicado neste Boletín (González et al, 2018) demos conta da preparación e da utilización práctica dun tipo especial de Nanomateriais Metálicos: as Nanopartículas Metálicas (NPMs). Neste artigo temos como obxectivo dar a coñecer como é o mundo doutros importantes e actuais nanomateriais metálicos: os chamados Puntos Cuánticos (PCs) ou, en terminoloxía inglesa, os Quantum Dots (QDs). A pretensión deste traballo é a de estudar que se entende hoxe por Puntos Cuánticos, como é a súa constitución, cal é o seu tamaño e forma; de que tipo resulta ser o seu enlace, como consecuencia do seu confinamento cuántico; cal é o efecto da luz sobre o tamaño e a natureza destes novos materiais; como son os métodos de obtención hoxe e como podemos caracterizar estes novos materiais; como son as súas propiedades e por ende as súas interesantes aplicacións como consecuencia da súa constitución; cal é a importancia actual das súas aplicacións tanto na industria

dos sensores químicos modernos, como sondas fluorescentes, como na farmacoloxía; como se realiza a bioconjugación destes materiais para a detección (diagnose) de tumores malignos e, posiblemente, para a súa utilización na terapia do cancro.

A nosa intención, neste traballo, é a de **informar e instruír**, de modo que este será o noso obxectivo; pero manteremos o propósito, coma sempre, de ser rigorosos no tratamento dos temas, de modo que cantos leades este artigo quedaredes ao día deste importante tema da química inorgánica moderna e, ademais, quedaredes preparados e motivados para seguir afondando no seu coñecemento.

2. XENERALIDADES

Denomínanse Puntos cuánticos (PC) a certos semicondutores (CdSe, CdTe, GaAs, ...etc), cuxos *excitóns* están confinados no espazo. Os PCs están integrados por compostos derivados de elementos químicos dos grupos 12-16, 13-15 ou 14-16 da táboa periódica. Son aproximadamente esféricos e teñen uns tamaños aproximados de 1-12 nm de diámetro, como corresponde a seren *nanopartículas*.

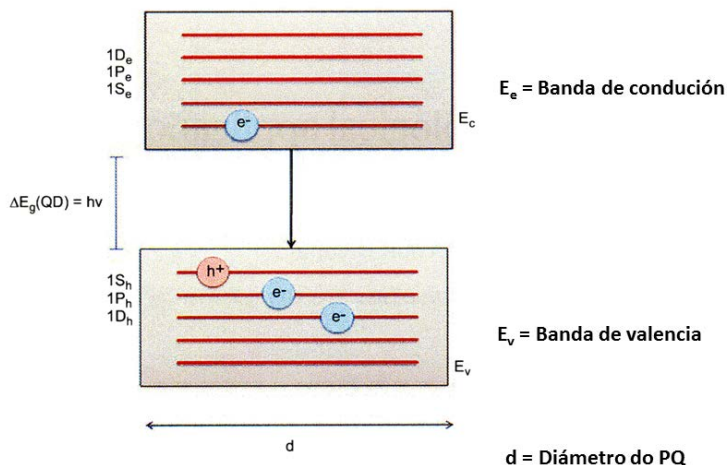


Figura 1. Bandas de valencia e de condución dos PCs.

A súa química desenvolveuse nos últimos trinta anos e, nese tempo, estudouse amplamente a síntese e as propiedades fotofísicas dos denominados PCs. Estes estudos puxeron de manifesto o forte confinamento cuántico dos seus *excitóns*, o que determina unhas propiedades ópticas e eléctricas únicas. A razón destas propiedades radica en que o confinamento cuántico, consecuencia do seu tamaño nanométrico, orixina niveis de enerxía en e^- e h^+ discretos (ver Figura 1), que son función do diámetro do PC, así como da súa composición. Dito doutro xeito, o *salto de banda* dun nanocristal semiconductor incrementase a medida que o diámetro diminúe, o que orixina emisión a lonxitudes de onda máis pequenas. Este efecto é análogo ao que se observa no tratamento mecanocuántico da “*partícula na caixa*”, que incrementa a súa enerxía cando o tamaño da caixa se fai menor.

Para comprender mellor a que se chaman *excitóns* analizaremos a figura 2, nela preséntase como son as bandas de valencia e de condución características dun semiconductor e os correspondentes niveis de enerxía dun Punto Cuántico. Pódese ver como no semiconductor a banda de condución e a banda de valencia están formadas por un continuo enerxético de orbitais (no mundo macroscópico están constituídas por un mol de orbitais); pero nos Puntos Cuánticos, esas bandas non son tales bandas, senón un conxunto discreto de orbitais enlazantes e antienlazantes (ver Figuras 1 e 2) correspondentes aos seus escasos orbitais dispoñibles.

Como se pode ver na figura 2, no semiconductor macroscópico unha moi pequena excitación pode facer saltar un electrón (e^-) da banda de valencia ata a súa banda de condución, é deste xeito como un fotón que entra nun semiconductor resulta capturado por un electrón (e^-) da banda de valencia e pode emigrar ata a banda de condución deixando un oco positivo (h^+) na primeira banda. Este mesmo efecto hase producir nos Punto Cuánticos, coa diferenza debida á constitución dos seus niveis de enerxía, tal e como se pode ver nas figuras 1 e 2.

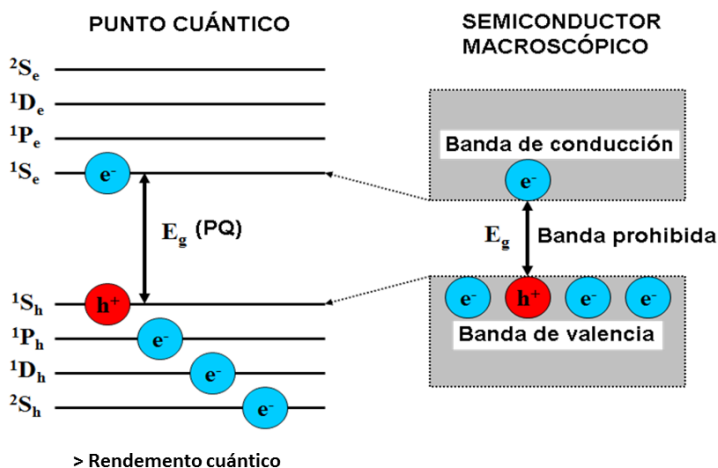


Figura 2. Diagrama de niveis de enerxía dun semiconductor macroscópico e dun PC.

No caso dos Pontos Cuánticos ao conxunto e^- e h^+ chámase *excitón* e a súa recombinación, cando o electrón cae de novo na banda de valencia, orixina unha “*emisión fluorescente*” (ver estes niveis de enerxía na Figura 2); estas emisións teñen unha enerxía menor que a que separa a e^- de h^+ , por mor do tamaño nanométrico destes nanomateriais. Como xa indicamos anteriormente, estes materiais presentan comportamentos cuánticos moi semellantes ao tratamento cuántico da “*partícula na caixa*”, polo que amosarán confinamentos cuánticos que orixinarán niveis discretos de enerxía en e^- e h^+ (ver Figura 2). Compre subliñar que, por todo o anterior, o salto de bandas nun nanocristal semiconductor (PC) se incrementa na medida en que o diámetro do nanomaterial diminúe, o que determina “*emisións fluorescentes*” a menor lonxitude de onda.

Como consecuencia, os portadores de carga e^- e h^+ poden estar a distancias grandes, cando o tamaño dos cristais do semiconductor é máis grande que o seu radio do “*excitón de Bohr*” (este parámetro é a distancia física entre o electrón (e^-) na banda de condución e o oco (h^+) na banda de valencia). No caso en que o tamaño do semiconductor sexa menor que o radio de Bohr, os portadores están fisicamente confinados, o que incrementa de forma notable o rendimento cuántico. Denomínase rendimento cuántico á eficiencia coa que os fotóns absorbidos se reemiten sen que a súa enerxía se disipe como calor ou outros efectos.

Esta dependencia entre o tamaño das nanopartículas e a súa emisión é a propiedade óptica máis estudada dos PCs. Para ilustrar esta peculiaridade, na figura 3 amósase o espectro de fluorescencia dun PC de CdSe con diferentes diámetros de partícula.

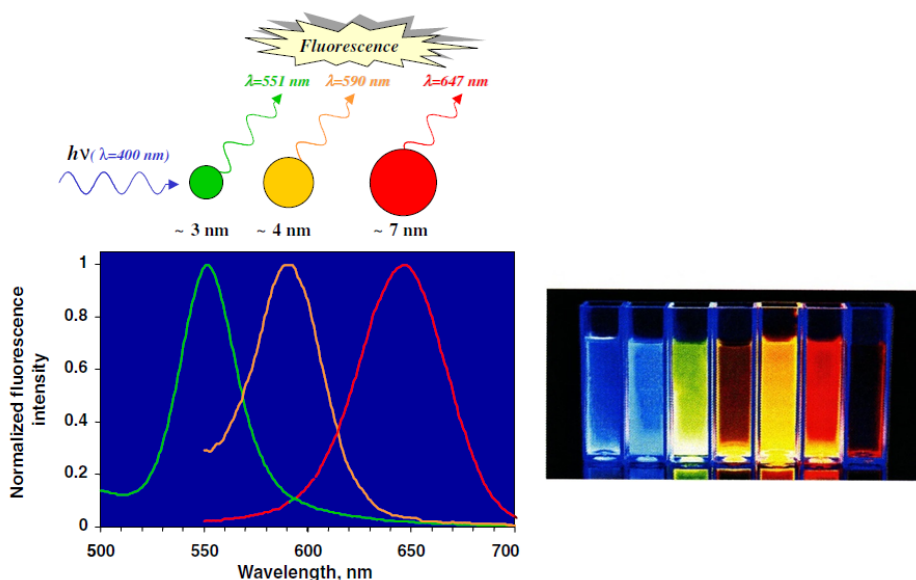


Figura 3. Fluorescencias de Puntos Cuánticos de CdSe e CdS.

Como se pode observar nesa figura, os nanocristais de diferentes tamaños emiten na marxe de 500-700 nm logo de ser excitados con luz de 400 nm. Na mesma figura amósase tamén o cambio de color da emisión de PCs de distinto tamaño, esta vez de CdS, logo de ser excitados con luz ultravioleta de 370 nm.

Táboa 1. Rangos de emisión fluorescente de distintos PCs.

Materiais nanocristalinos e rango de emisión			
Material do carozo do PC	Rango emisión fluorescencia (nm)	de	Rango do diámetro do PC (nm)
Sulfuro de cinc (ZnS)	300 - 410	-	
Seleniuro de cinc (ZnSe)	370 - 430		
Sulfuro de cadmio (CdS)	355 - 490		1,9 - 6,7
Telururo de cadmio (CdTe)	620 - 710		
Sulfuro de chumbo (PbS)	700 - 950		2,3 - 9
Seleniuro de chumbo (PbSe)	1200 - 2340		
Telururo de chumbo (PbTe)	1800 - 2500		

Cómpre resaltar que as emisións dun PC poden ser moduladas variando o tamaño das súas partículas; pero tamén variando a súa composición: na táboa 1 pódese observar como variando a composición dos PCs se pode emitir fluorescencia desde os 300 nm (PCs de ZnS) ata o infravermello próximo (utilizando PCs derivados de seleniuro de chumbo, PbSe).

Como consecuencia da súa distribución electrónica, semellante á dos átomos, os PCs teñen espectros de emisión con bandas moi agudas, con anchuras media de banda de tan só 15-40 nm, valores que son significativamente menores que os dos colorantes orgánicos tradicionais e mesmo das sondas colorimétricas actuais máis precisas. Por outra parte, tamén teñen maiores rendementos cuánticos que eses colorantes, polo que dan lugar non só a sinais máis finos nos espectros, senón que tamén resultan máis intensos. Este comportamento converteunos en axentes analíticos moi importantes na química actual.

Como xa se comentou á hora de determinar o rendimento cuántico, unha parte moi importante do mesmo é o resultado da recombinación radiante de e^- e h^+ que xera a emisión do excitón; pero hai unha contribución que aínda non tiñamos mencionado e que se chama recombinación non radiante que, como o seu nome indica, non emite luz e que depende da superficie da nanopartícula. Esta recombinación non radiante é máis rápida que a radiante e reduce o rendimento cuántico global. Tense demostrado que recubriendo o PC, por exemplo cunha cuberta doutro semiconductor inorgánico de banda máis ancha (p.e. ZnS para un PC de PbSe), o cambio superficial reduce esa recombinación non radiante e provoca unha emisión máis intensa. Estes PCs que conteñen un “corazón, carozo ou núcleo” radiante e unha “cuberta, casca ou coiraza” protectora, non só teñen unha luminescencia maior que os “PCs nus”, senón que son máis estables e máis resistentes quimicamente. En calquera caso, aínda cando estean formados polo *carozo* só, estes materiais son 100 veces máis estables que os colorantes orgánicos e resisten mellor que estes o fotobranqueo ou a decoloración pola luz.

A todo o anterior habería que engadir a posibilidade de modificar as propiedades da superficie do PC, acoirazado ou non, colocándolle ligandos que se fixan a ela cambiando a solubilidade da nanopartícula e facilitando o seu recoñecemento por parte doutras substancias. De feito, como logo veremos, para facilitar as sínteses dos PCs e evitar a súa agregación, prepáranse recubertos, aínda que este recubrimento orixinal da síntese pódese modificar a posteriori. Por tanto, a partir de agora, veremos representados os PCs tal e como se recolle na figura 4, que reproduce a simboloxía habitual para un PC de CdSe, cunha *coiraza* de ZnS e un recubrimento formado por un ligando indeterminado. A citada figura tamén inclúe unha ilustración máis “realista” do carozo e da *casca*.



Figura 4. Representación da constitución dos PCs.

Este recubrimento ou tapizado externo con ligandos máis ou menos complexos que se unen ao “caparazón” (PC completo) por un extremo cargado e que orientan o seu outro extremo *hidrofóbico* o *hidrofílico* cara fóra, dispersan as nanopartículas no disolvente da síntese e impiden a súa aglomeración.

3. OBTENCIÓN DOS PCs

Un capítulo central do desenvolvemento destes novos materiais é o da súa obtención. Débese lembrar que as propiedades dos PCs dependen fundamentalmente do seu tamaño e da súa homoxeneidade, por elo, no proceso de síntese cómpre preparar mostras uniformes en composición, tamaño, forma, estrutura interna e composición; tal e como acontece cando queremos preparar un material inorgánico puro.

Como consecuencia a preparación dos PCs esixe un control minucioso da súa composición e do seu crecemento; neste momento é onde entran en xogo os coñecementos inorgánicos que foron tan cruciais para permitir o desenvolvemento dos PCs nos últimos anos.

Os métodos de síntese destas nanopartículas especiais (como en xeral de calquera outra), poden seguir os dous tipos de procedementos xerais xa sinalados na preparación das nanopartículas: os *descendentes* (*top down*) ou os *ascendentes* (*bottom up*) (figura 5). Estamos a indicar dous tipos de procesos: o “*descendente*”, no que se parte do material bruto e se disgrega progresivamente ata chegar ao tamaño de partícula desexado; ou o “*ascendente*”, no que se fan medrar as partículas, que inicialmente non chegan ao tamaño nanométrico, ata conseguir que se acheguen a el. Nestes momentos dominan os métodos de síntese “*ascendente*”.

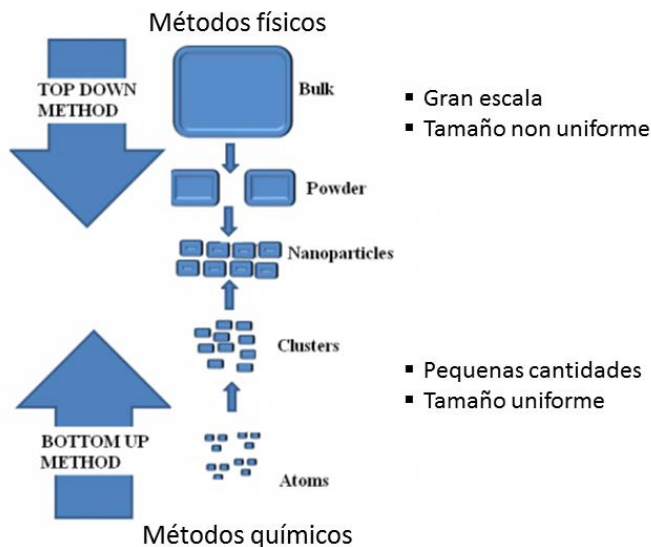


Figura 5. Métodos de síntese de PCs.

Para poñer de manifesto as dificultades deste tipo de química preparativa, traballaremos co exemplo dos PCs que conteñen CdSe no seu *carozo* e ZnS na súa *casca*, por ser un dos materiais máis utilizados na actualidade.

A obtención dos PCs implica o procedemento tradicional de sintetizar o *carozo* –partindo dos axeitados precursores–, facer logo que medren eses núcleos ata o tamaño preciso e pechalos cunha axeitada *casca* –preparada cos precursores necesarios– e, finalmente, recubrilo cun ligando que xere a solubilidade axeitada para o noso fin e que, normalmente, será o propio disolvente ou algún dos reactivos utilizados na síntese.

Cando cumpra, logo de sintetizar o PC, procederase a funcionalizalo intercambiando este ligando da preparación por un novo de interese posterior para as súas aplicacións.

Para conseguir unha mellor formación dos PCs uniformes, homoxéneos e do tamaño axeitado, cómpre facer unha nucleación única e dun xeito rápido seguido dun crecemento lento deses núcleos xa formados. Este obxectivo acádase por medio dunha reacción rápida dos precursores nun recipiente cos disolventes coordinantes a temperatura elevada. Cando se quere rematar o crecemento dos PCs engádense os reactivos para formar a *casca*, e o proceso acábase finalmente co recubrimento por parte dos ligandos coordinantes seleccionados.

Na figura 6 esquematízase o proceso de formación do PC CdSe/ZnS-TOPO. Na primeira etapa da nucleación engádese o precursor do selenio (un seleniuro metálico) disolvido en TOP (trioctilfosfina), sobre unha disolución do precursor de cadmio (cloruro, óxido, acetato,...etc.) disolvido en TOPO (óxido de trioctilfosfina); a reacción realízase a uns 320º en atmosfera inerte.

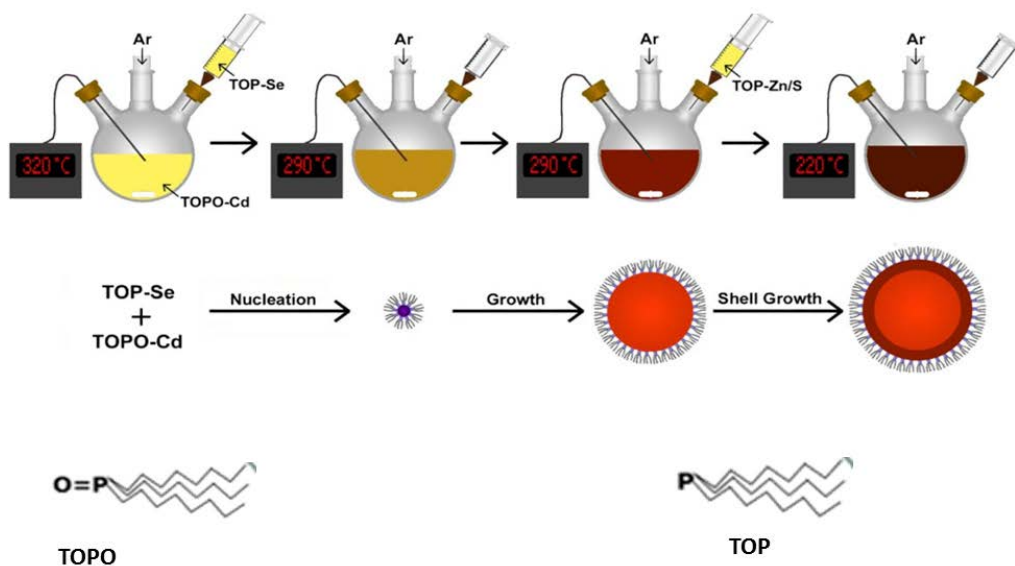


Figura 6. Obtención dun PC non acuoso.

Cando se inicia a nucleación rebáixase a temperatura a uns 290º para que se produza o crecemento uniforme dos PCs. Cando se acada o tamaño preciso (contrólase polos procedementos de diagnose de tamaño que logo sinalaremos), remátase o proceso procedendo ao recubrimento do núcleo coa *casca* procedente dun precursor de ZnS disolvido en TOP. A reacción déixase estar ata que chegue a temperatura ambiente e se procede a separar e purificar o PC obtido. Aínda que se descoñece con detalle cal é o mecanismo polo que, trala nucleación, os cristais medran suponse que ou ben as moléculas de TOPO non cobren toda a superficie ou ben se disocian para permitir a incorporación de novo material.

Este PC preparado é liposoluble, pero non hidrosoluble dado que a súa parte hidrofóbica é a que se proxecta cara a parte exterior do PC, se queremos que as nosas nanopartículas sexan solubles en auga cómpre unha etapa ulterior na que intercambiamos o ligando, funcionalizando o noso PC para que sexa soluble nese medio.

Para producir o intercambio de ligandos existen varias estratexias, na figura 7 ofrecemos diversas posibilidades de funcionalización:

1º Intercambiando o ligando usando medios inorgánicos tradicionais; este é o caso proposto na figura 7A, no que se intercambia o ligando orixinal por outro ligando bifuncional (o ácido

tioglicólico) ou utilizando ligandos siloxanos funcionalizados, que xeran un especial recubrimento con grupos siloxoles.

2º Mantendo o recubrimento con TOPO (ligando da obtención do PC), pero recubríndoo cun ligando *anfifílico* do tipo do ácido poliacrílico modificado con n-octilamina (ver Figura 7B). Derivado do anterior xurdirían as interaccións hidrofóbicas dos novos ligandos co PC-TOPO e aparecerían cara o exterior as novas interaccións hidrofílicas co medio.

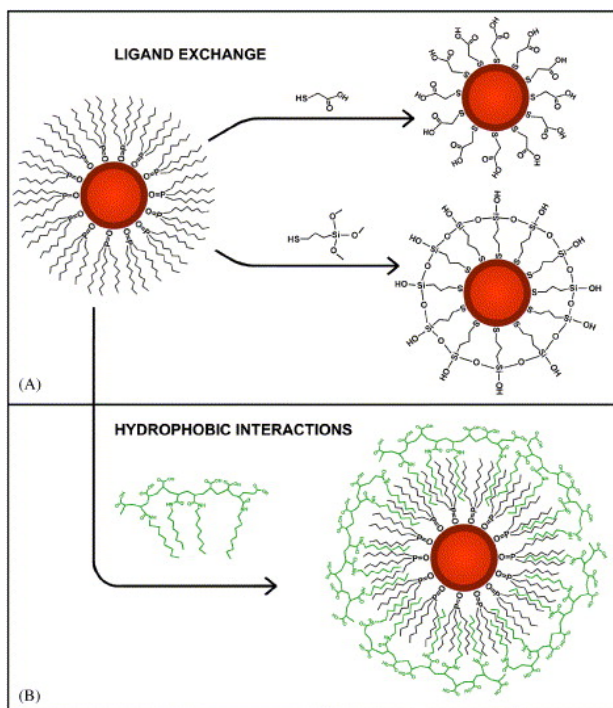


Figura 7. Funcionalización de PCs non acuosolubles.

Podemos tamén preparar PCs en auga como disolvente, co que non teríamos necesidade de realizar a etapa final de funcionalizar/intercambiar os ligandos hidrófobos; este procedemento é o máis habitualmente seguido na actualidade para a obtención dos PCs. Na figura 8 presentamos outro posible esquema de obtención de PCs de CdTe en disolución acuosa seguindo un procedemento estándar posto a punto hai pouco. Traballando neste disolvente as temperaturas da síntese redúcense notablemente por mor da temperatura de ebulición da auga.

Como se pode ver na primeira etapa de nucleación do PC CdTe/MPA, engádese o precursor de Te (o NaHTe preparado nunha reacción aparte, ver Figura 8) sobre o precursor de cadmio, CdCl_2 , en medio básico con MPA, quentados a uns 100°C e en atmosfera de $\text{N}_2(\text{g})$. A mestura alcalinízase para favorecer a desprotonación do MPA e, logo, quéntase a reacción a temperatura de baño de auga a refluxo.

A reacción mantense a refluxo durante 2-4 horas ata obter os PCs. O seguimento do crecemento dos PCs realízase por estudos de fluorescencia (ver Figura 9) ata conseguir o tamaño dos nanocristais desexados. Remátase o proceso coa formación da *casca* de ZnS, engadindo o precursor de cinc (ZnCl_2) disolvido en ácido mercaptopropiónico (MPA). Será este ácido, MPA, o que aporte o xofre preciso para a formación do ZnS nese medio básico.

Os PCs obtéñense por precipitación, logo de concentrar a disolución final da reacción, lávanse con n-propanol, sepáranse por centrifugación, sécanse e caracterízanse.

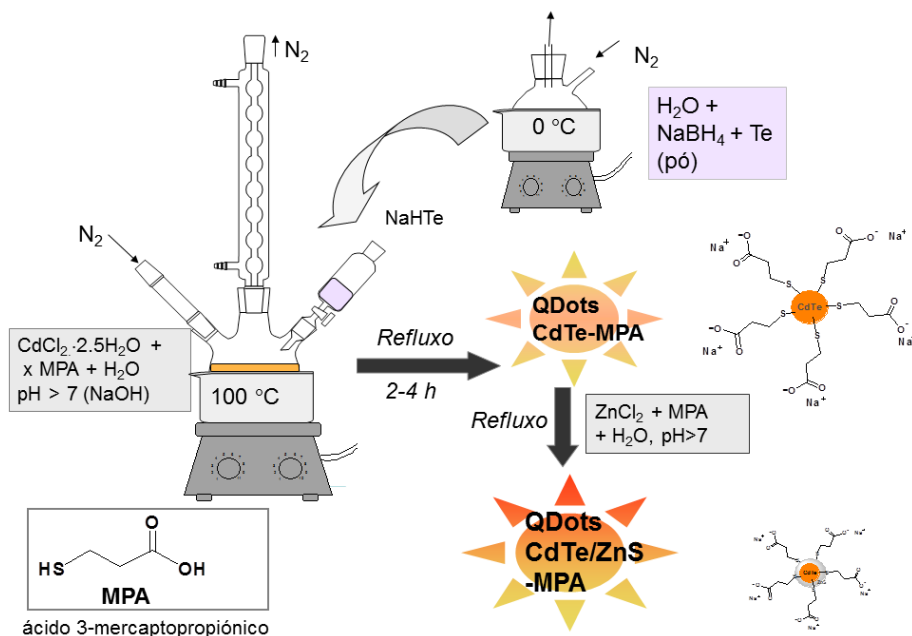


Figura 8. Síntese acuosa de PCs de CdTe.

3.1. A caracterización dos Puntos Cuánticos

As técnicas de diagnose empregadas na caracterización dos PCs son as habituais na caracterización dos compostos de coordinación e outras especies das ciencias dos materiais, así:

- Espectroscopias de absorción e de fluorescencia, que son moi importantes no momento da síntese das nanopartículas para fixar o tamaño óptimo das mesmas e, tamén, nos estudos das súas aplicacións (ver Figura 9).

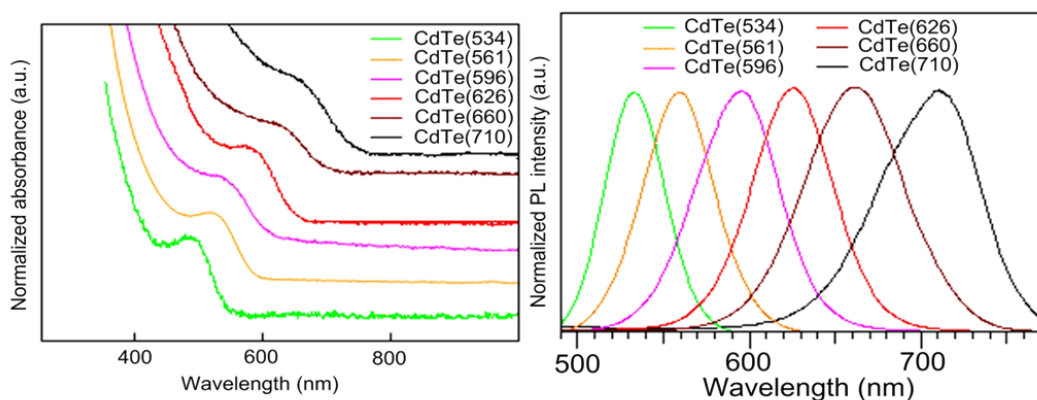


Figura 9. Variación dos espectros de absorción e fluorescencia de PCs de CdTe co tamaño.

- Espectroscopias IR e Raman (ver Figura 10, superior), que dan conta da pureza dos PCs preparados ao poderse recoñecer ben tanto os ligandos que os recobren como a pureza do *carozo* e da *casca*. As bandas vibracionais IR e Raman dos ligandos identifícanos claramente polas bandas

dos grupos orgánicos na rexión dos $3000\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ e as bandas dos grupos inorgánicos atópanse na rexión dos $600/300\text{ cm}^{-1}$.

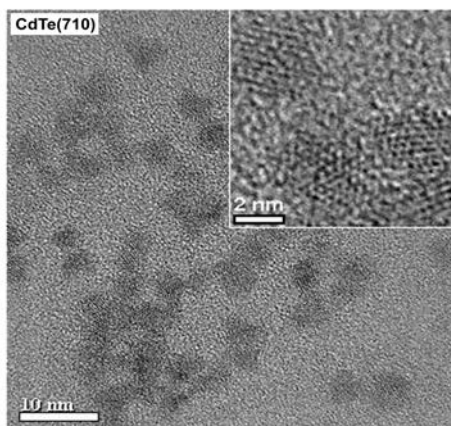
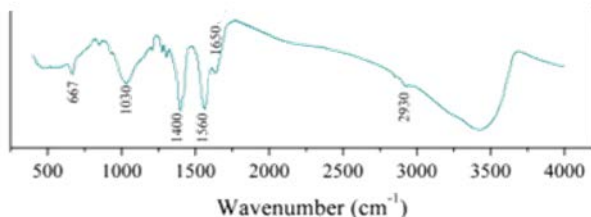


Figura 10. Métodos de diagnose estrutural dos PCs.

- A difracción de raios X de po ou de monocristal que servirán para caracterizar claramente aos PCs.
- A microscopía electrónica de transmisión (TEM) (ver Figura 10, abaixo), que permite obter imaxes precisas das nanopartículas e, ao tempo, establecer a forma e a distribucións dos correspondentes tamaños.

Todas estas técnicas de diagnose son directas, inmediatas e clásicas na moderna investigación química e permiten conseguir moita información tanto sobre a constitución dos PCs como sobre as súas aplicacións.

3.2. As aplicacións dos PCs

Son tan variadas e amplas as aplicacións dos PCs que elaboramos un cadro (Táboa 2) no que recolleemos moitas das súas aplicacións en moi diversos campos.

Destacaremos como aplicacións máis interesantes na actualidade o seu uso como:

- Dispositivos ópticos. Por mor das súas propiedades optoelectrónicas son interesantes e regulables para converterse en dispositivos moi útiles en instrumentos fotónicos, fotovoltaicos e en díodos emisores de luz (LEDs). Todo elo determina que se usen, cada vez máis, como dispositivos optoelectrónicos en: células solares; láseres; sensores; fontes de un só fotón; no procesamento cuántico da información; na telefonía móbil; ...etc.

- Sensores de luz de utilidade moi variada: sensores na diagnose do cancro; sensores para a detección de enfermidades diversas; en sistemas de subministro de medicamentos programados; como sensores para a detección de analitos químicos contaminantes presentes nun medio en moi reducidas concentracións; ...etc.

- Fluorescencia de Imaxe. Quizá a súa aplicación máis relevante na actualidade sexa a utilización da súa fluorescencia en procesos de diagnose en bioimaxe.

Táboa 2. *Aplicacións variadas dos PCs.*

Propiedades	Aplicacións
Ópticas	Recubrimentos antireflectantes. Índice de refracción de superficies. Sensores de luz para diagnóstico do cancro. Filtros solares inorgánicos.
Magnéticas	Partículas nanomagnéticas que melloran a resolución de imaxes de resonancia magnética.
Térmicas	Incremento da eficiencia de refrixerantes en transformadores. Incremento da resistencia ao desgaste.
Mecánicas	Novos materiais estruturais e composites máis lixeiros e resistentes.
Electrónicas	Compoñentes máis efectivos e de menor tamaño, por exemplo condensadores para teléfonos móbiles. Pantallas máis baratas, grandes, brillantes e eficientes. Materiais supercondutores.
Enerxéticas	Baterías de alta densidade de enerxía máis duradeiras. Almacenamento de hidróxeno utilizando nanoclústeres metálicos. Electrocatalizadores para celas de combustible de alta eficiencia. Celas solares.
Biolóxicas	Recubrimentos antibacterianos en vendaxes. Sensores para a detección de enfermidades. Sistemas de subministro de medicamentos programados. Alimentos e bebidas (interactivas que cambian de cor ou sabor, dependendo da calidade ou estado do alimento).
Medioambientais	Recuperación de solos. Polímeros biodegradables. Estimuladores da xerminación. Tratamento de emisións industriais. Sistemas máis eficaces para o filtrado da auga. Sensores para a detección de contaminantes en pequenas concentracións, etc.

Seguidamente estudaremos a utilización dos PCs como sondas fluorescentes, tanto en medios químicos como bioquímicos, para a detección de ións ou biomoléculas *in vivo* e *in vitro*. Este comportamento débese a que tanto a súa intensa fluorescencia como as modificacións que ela pode experimentar polo seu tamaño e pola interacción cos máis diversos substratos, os poden facer utilizables, axeitadamente empregados, coma un poderoso método de identificación químico.

4. A UTILIZACIÓN DOS PCs COMO SONDAS FLUORESCENTES

Os PCs pódense utilizar para detectar os máis variados ións e biomoléculas, tanto *in vivo* como *in vitro*, actuando como sondas fluorescentes. Aproveitase para esta aplicación a intensa fluorescencia que presentan os PCs e as distintas modificacións que, as bandas de fluorescencia, poden experimentar polas súas interaccións con moi distintos substratos. Esta fluorescencia, xunto coas súas modificacións, utilízanse como medio de identificación dos máis variados analitos.

Como exemplo desta importante aplicación seleccionamos seguidamente a identificación do catión contaminante Hg^{2+} en moi pequena concentración (*sensibilidade*) nun medio dado e na presenza doutros catións moi diversos e distorsionadores da súa análise (*especificidade*); ademais, estes catións acompañantes atópanse en concentracións notablemente máis elevadas. Na figura 11 presentamos dous PCs con distintos recubrimentos: un deles –o recuberto con TOPO– presenta importante fluorescencia en cloroformo, pero non na auga. Se intercambiamos o ligando TOPO por HDCT (2-hidroxietilditiocarbamato) este novo PC presenta notable fluorescencia en auga (cando se ilumina con luz UV de 365 nm produce unha forte emisión sobre 600 nm).

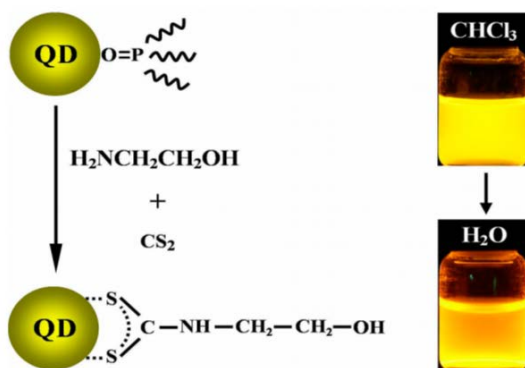


Figura 11. Sondas fluorescentes de PCs.

Esta sonda Cd/Se-HDCT é unha sonda perfecta para detectar o catión mercurio (II) cunha grande *sensibilidade* (detecta moi reducidas cantidades deste ión) e *especificidade* (recoñece na presenza de moitos outros catións). O seu mecanismo de recoñecemento pode verse na figura 12.

Na parte inferior desta figura 12 preséntase o mecanismo proposto para comprender o apagado desta sonda fluorescente: o catión Hg^{2+} vaise enlazando ao ligando HDTC, desprazándoo do PC, ata que o quelata por completo deixando o PC sen recubrimento; nesta situación non se produce fluorescencia, polo que este sistema –a sonda indicada– se apaga.

Nas figuras 12 e 13 represéntase a valoración volumétrica do ión Hg^{2+} , en moi pequenas concentracións, coa sonda indicada que presenta unha forte fluorescencia sobre 600nm. Pódese observar como a cor da sonda vai variando ata apagarse para unha determinada concentración do ión.

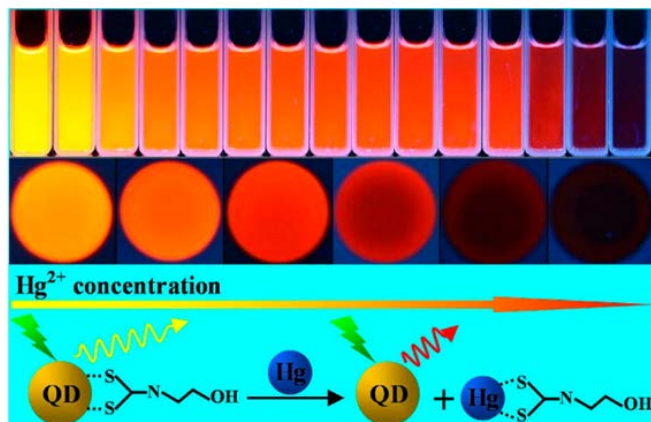


Figura 12. Sonda fluorescente e mecanismo para detección de Hg^{2+} .

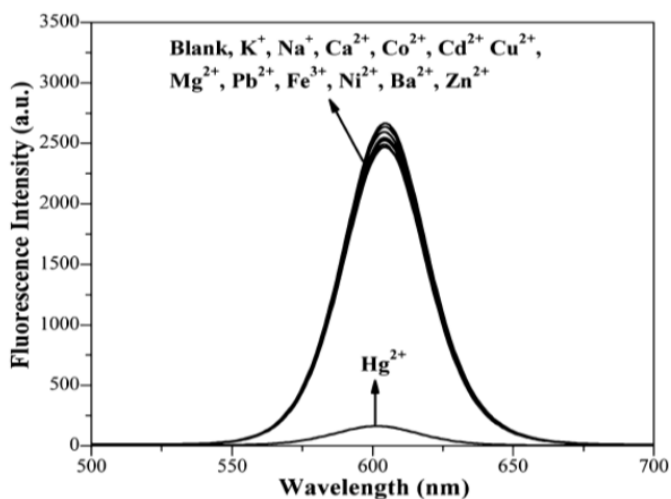


Figura 13. Valoración volumétrica do Hg^{2+} cunha sonda fluorescente.

A importancia práctica destas sondas fluorescentes na detección de metais mídese, non só analizando a influencia do analito na fluorescencia, é dicir a súa *sensibilidade* (determinase polo “*apagado*”, neste caso, da fluorescencia ou polo “*acendido*” noutros exemplos), senón considerando tamén a súa *especificidade* (se a nanopartícula experimenta o cambio na súa fluorescencia na presenza dun só analito ou se o fenómeno o provocan cando hai máis dun). Obviamente, a sonda é moito máis útil neste último caso.

Os PCs que estamos discutindo son moi selectivos co mercurio, como se aprecia na Figura 13, onde se pon de manifesto que, dos ións representados, tan só o Hg(II) reduce de maneira significativa a fluorescencia deste PC. Realmente, o ión Ag(I) (non representado na figura 13), tamén apaga este PC, aínda que os autores deste traballo non incluíron ese dato na gráfica.

Moitas veces, para xerar a sonda, cómpre modificar o recubrimento inicial do PC de maneira moito máis intensa a fin de que se volva sensible ao substrato. Por todo elo estanse a desenvolver moi

diferentes estratexias de intercambio ou funcionalización do recubrimento, algunhas delas moi sofisticadas que esixen equipos de investigación multidisciplinares e moi custosos.

5. OUTRAS APLICACIÓNS DOS PCs

Existen moitísimas máis aplicacións dos PCs e, para comprendelas mellor, cómpre coñecer cales son as diversas vías de funcionalización e, entre elas, a chamada estratexia de *bioconxugación*. Na figura 14 representamos moi diversos recubrimentos de PCs e, dun modo especial, queremos resaltar a estratexia da súa funcionalización para conseguir PCs bioconxugados; esta estratexia vai permitir a penetración dos PCs, a través das paredes celulares, e mesmo chegar a penetrar as mitocondrias, no interior das células dos organismos vivos, por un proceso de endocitose (cómpre lembrar que un PC é 10^3 veces menor que un virus, 10^4 menor que unha bacteria e 10^5 veces menor que unha célula). No esquema que sigue presentaremos diferentes modos de funcionalización dos PCs e unha estratexia de *bioconxugación*.

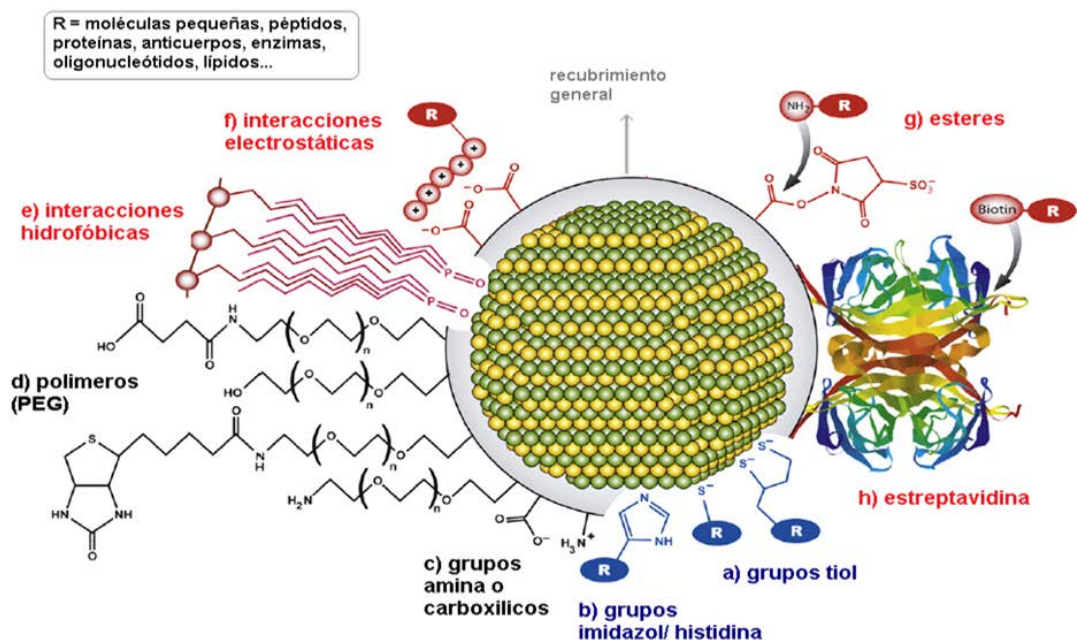


Figura 14. Variada funcionalización de PCs e a estratexia de *bioconxugación*.

Na parte externa gris do PC, na figura 14, represéntase un recubrimento calquera. Este recubrimento pode estar asociado á superficie da nanopartícula, vía interaccións *hidrofóbicas*, ou por un proceso de coordinación. Dentro deste último tipo de recubrimento inclúense: (a) grupos tioles mono ou bidentados; (b) imidazoles, poli-imidazoles (p.e. polihistidinas) ou ditiocarbamatos (non representados); como xa se comentou anteriormente, o exterior do recubrimento pode mediar na solubilidade na auga grazas a (c) grupos amina, carboxilato ou PEGs funcionalizados (PEG, polietilenglicol).

A estratexia de *bioconxugación* (é dicir, a funcionalización que asocia biomoléculas) pode realizarse (ver Figura 14): (a) con modificacións dos tioles ou (b) con modificacións da polihistidina ou metalotioneína (non representada nese esquema) que penetran o recubrimento e interaccionan coa superficie do PC; (f) mediante asociacións electrostáticas co recubrimento; (g) coa formación de

ésteres e o seu posterior acoplamento; (h) coa formación de sistemas conxugados, tipo *PC-streptavidina*, etiquetados con biotina (ver Figura 14 e a súa explicación máis adiante).

Estes diversos cambios nos recubrimentos dos PCs poden clasificarse a “*grosso modo*” en:

1) Baseados en ligandos

Os recubrimentos con ligandos están formados por moléculas pequenas que se unen directamente á superficie inorgánica do PC. Os ligandos máis comúns son tioles monodentados (p.e., o ácido mercaptopropiónico, MPA) ou bidentados (p.e. ácido dihidrolipoico, DHLA, ver Figura 15) con grupos carboxilato terminais.

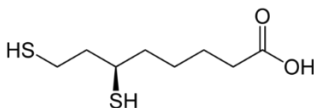


Figura 15. Ácido dihidrolipóico, DHLA.

Estes ligandos son compactos, cargados e manteñen a estabilidade coloidal grazas a repulsións electrostáticas; sen embargo, permiten a agregación a pH baixos ou en disolucións de alta forza iónica. Debe notarse que os primeiros son característicos dos liposomas celulares e que as altas forzas iónicas son particularmente comúns nas matrices biolóxicas. Os ligandos zwitteriónicos, tales como a penicilamina ou a cisteína, poden mellorar a súa estabilidade fronte ás variacións do pH.

Adicionalmente téñense utilizado, para recubrir os PCs, outros numerosos ligandos (ver Figura 14).

2) Baseados en polímeros neutros ou cargados

Son dunha especial utilidade os derivados do polietilenglicol (PEG na Figura 14), que ofrecen unha estabilidade coloidal superior en amplos marxes de pH e de forza iónica. En certo xeito, similares aos tioles, os ditiocarbamatos tamén se coordinan á superficie do PC, pero o seu uso ten sido máis limitado polo momento.

3) Baseados en biomoléculas

Na figura 14 preséntanse tamén algúns exemplos da chamada *bioconxugación* (é dicir, funcionalización cunha determinada biomolécula) que facilita o uso dos PCs en medios biolóxicos: encimas, anticorpos, pequenas moléculas que se unen a proteínas e oligonucleótidos,...etc., son algúns dos axentes de bio-recoñecemento que se poden acoplar ás nanopartículas.

Na figura 14 destácase dun modo especial o caso da *streptavidina*, unha glicoproteína con alta carga positiva, que se une firmemente á superficie dos PCs axeitadamente recubertos. Isto é canto acontece, por exemplo, cando se pon en contacto con Puntos Cuánticos de CdSe/ZnS recubertos de ácido dihidrolipoico, que deixa a superficie da partícula recuberta con carga negativa. As *avidinas* interaccionan estequiometricamente coa *biotina*, pola que amosan unha gran afinidade. Polo tanto, unha vez funcionalizados (bioconxugados) os PCs coas *avidinas*, éstas poden unirse, por exemplo, a un *anticorpo "biotinado"*, enlazando deste xeito a nanopartícula ao anticorpo; o que vai permitir que o PC sexa doadamente recoñecido polas células, permitindo a *endocitose*.

- Aplicacións de PCs *bioconxugados* como dianas biolóxicas

Dentro desta liña de funcionalización por bioconxugación encamiñada a dirixir os PCs cara dianas biolóxicas específicas, podemos citar un traballo, no que se empregan este tipo de nanopartículas para xerar imaxes e identificar células de cancro de próstata implantadas en ratos. Vexamos como é o proceso.

Preparáronse PCs de CdSe/ZnS recubertos con TOPO. Sobre este Punto Cuántico engádesse unha capa protectora dun polímero (Figura 16) que ten unha parte hidrofóbica, que interacciona con TOPO e o deixa fixado ao PC, e unha parte hidrofílica con grupos carboxilato.

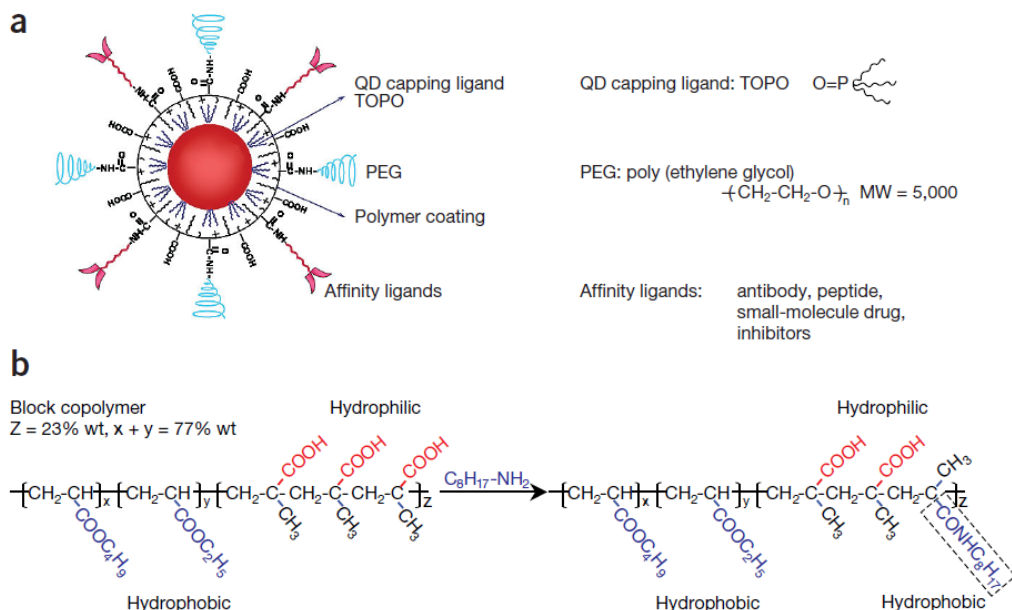


Figura 16. Etapas da bioconxugación dun PC.

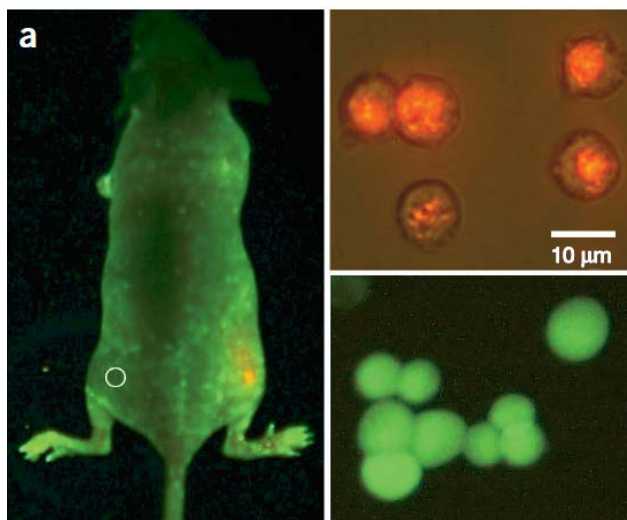


Figura 17. Detección de células cancerixenas de próstata nun rato, utilizando PCs Bioconxugados.

A través destes grupos carboxilatos, as nanopartículas resultantes funcionalizáronse adicionalmente con anticorpos afíns polas células cancerixenas utilizadas.

No exemplo seleccionado inxectáronse nun rato (ver Figura 17), nos seus dous flancos, células cancerixenas de próstata e dous axentes de contraste identificados. Estes novos Puntos Cuánticos Bioconxugados (preparados como se indicou) foron inxectados nas células do lado dereito do rato e, no lado esquerdo, inxectouse a chamada *proteína fluorescente verde* (GFP), que é un axente moi usado para xerar imaxes de células cancerixenas “*in vivo*”. Pese a que o número de células inxectado en cada lado do rato foi aproximadamente o mesmo, e aínda que ambos sistemas fluorescentes “*iluminan*” (con distinta cor) as células nun cultivo *in vitro*, soamente as células etiquetadas cos PCs se observan como unha fluorescencia laranxa na parte dereita do rato. O flanco esquerdo (círculo na figura) que contén as células etiquetadas con GFP non mostra fluorescencia algunha.

- Utilización dos PCs Bioconxugados no fenómeno *FRET*

Un segundo exemplo que presentamos para comprender mellor a importancia na utilización de PCs Bioconxugados, preséntase a seguir e pode ser moi interesante pois pon de manifesto a importancia do chamado fenómeno *FRET*, cando se asocia cos PCs na identificación de sustancias específicas.

Denomínase fenómeno *FRET* (en inglés, *fluorescence resonance energy transfer*, *transferencia de enerxía por resonancia de fluorescencia*) á transferencia de enerxía que ten lugar, tan só a moi curta distancia, entre dous estados de excitación electrónica de dúas moléculas fluorescentes cando a lonxitude de onda de emisión dunha delas coincide coa de excitación da outra (ver Figura 18).

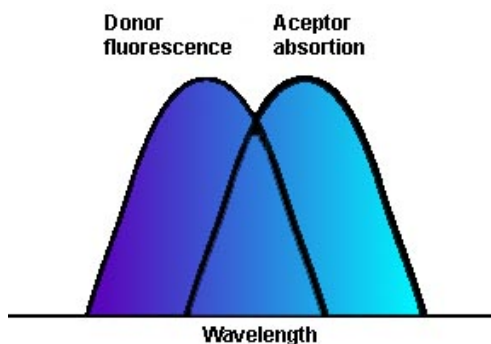


Figura 18. Transferencia de enerxía por efecto *FRET*.

A *FRET* é inversamente proporcional á sexta potencia da distancia entre os dous fluorocromóforos, polo que só pode producirse este efecto cando ambos cromóforos están moi próximos. No exemplo da Figura 20, a proteína fluorescente azul (BFP, dador) excitaríase cun fotón de luz ultravioleta e emitiría, como o seu nome indica, no rango do azul, mentres que a proteína fluorescente verde (GFP, aceptor) xa mencionada, excitaríase cos fotóns de luz azul da BFP e emitiría fotóns verdes. Por si solos os fotóns ultravioleta serían incapaces de conseguir a emisión de fotóns verdes da GFP, polo que a emisión destes só é posible se se ten producido o *FRET*.

A importancia que pode ter a utilización dos PCs, á hora de aproveitar este fenómeno *FRET*, reside en que, como xa sabemos, a emisión dos PCs pode modularse coa variación do seu tamaño, o que permite adaptalos a moi diversos aceptores de transferencia lineal de enerxía, sen cambiar basicamente a composición química do punto cuántico, actuando tan só sobre o seu proceso de crecemento durante a síntese.

Como exemplo de utilización dos PCs, complementado co efecto *FRET*, podemos explicar como serven para detectar maltosa cunha gran sensibilidade. Vexamos: os Puntos Cuánticos de CdSe/ZnS recubertos de ácido dihidrolipoico (Figura 19a) bioconxugáronse a través de interaccións electrostáticas coa proteína MBP (maltose binding protein) (Figura 19b).

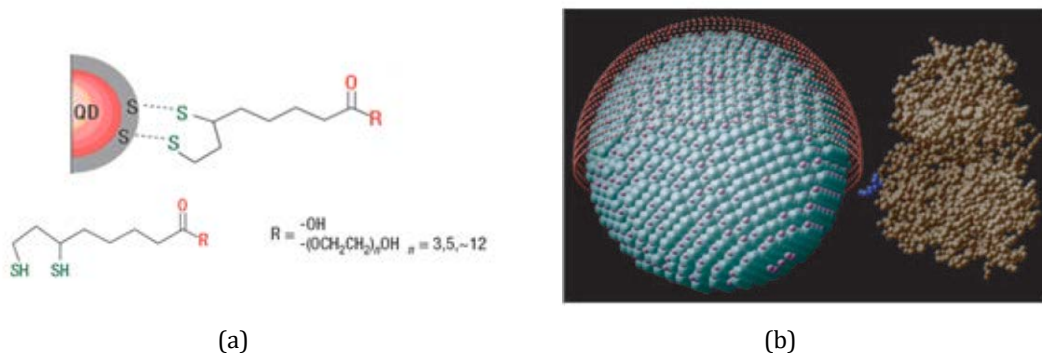


Figura 19. Bioconxugación dun PC de cadmio.

Nesta parte da figura 19b tense representado a superficie do PC en azul e o recubrimento como unha rede fina tenue vermella. A proteína aparece na parte dereita da imaxe coa súa zona de interacción electrostática destacada en cor azul.

Se non existe maltosa, o punto de anclaxe deste substrato na proteína pode ser ocupado por un colorante orgánico ligado a unha ciclodextrina (Figura 20).

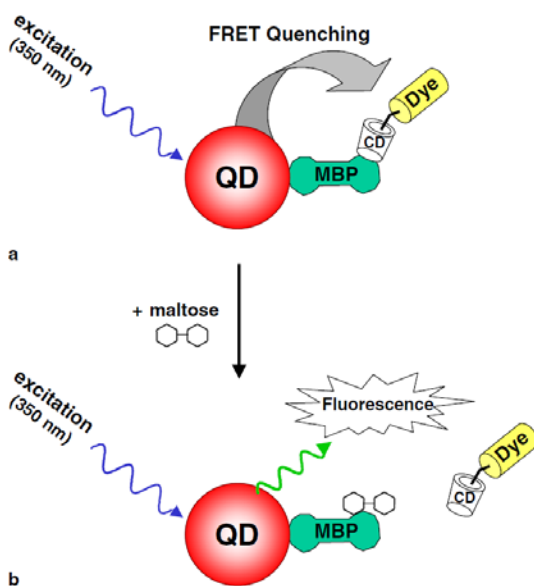


Figura 20. Mecanismo de detección de maltosa.

Mentres esta asociación permanece, a fluorescencia do PC está “apagada” pola transferencia FRET ao colorante orgánico; pero tan pronto o sistema detecta a maltosa, ésta, que é o substrato natural da proteína, despraza ao colorante, interrompindo o efecto FRET e a fluorescencia do PC restablécese (é dicir, que se “acende”). Esta proba é moi sensible.

6. REMATE

Poderíamos seguir a poñer moitos máis exemplos das aplicacións actuais dos PCs, pero semella que abonda cos presentados ata agora, pois coidamos ter cumprido o obxectivo deste artigo. Pretendíamos presentar a actualidade e importancia do tema dos Puntos Cuánticos e espertar o voso interese por saber máis deste actual tema. Coa bibliografía que a seguir se ofrece tedes abertas as portas para continuar aprofundando no coñecemento desta área da *nanociencia*.

7. REFERENCIAS

- Bayley, R. E., Smith, A. M., Nie, S. (2004). Quantum dots in biology and medicine. *Physica E*, 25, 1-12.
- Cabral Filho, P. E., Cardoso, A. L. C., Pereira, M. I. A., Ramos, A. P. M., Hallwass, Castro, M. M. C. A., Gerales, C. F. G. C. F., Santos, B. S., Pedroso de Lima, M. C., Pereira, G. A. L., Fontes, A. (2016). CdTe quantum dots as fluorescent probes to study transferrin receptors in glioblastoma cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1860, 28-35.
- Chang, Y., Yao, X., Zhang, Z., Jiang, D., Yu, Y., Mi, L., Wang, H., Li, G., Yu, D., Jiang, Y. (2015). Preparation of highly luminescent BaSO₄ protected CdTe quantum dots as conversion materials for excellent color-rendering white LEDs. *Journal of Materials Chemistry C*, 3, 2831-2836.
- Costa-Fernández, J. M. R. Pereiro, A. Sanz-Medel (2006). The use of luminescent quantum dots for optical sensing. *Trends in Analytical Chemistry*, 25, 207-218.
- De Mello Donega, C. (2011). Synthesis and properties of colloidal heteronanocrystals *Chemical Society Reviews*, 40, 1512-1546.
- Gao, X., Cui, Y., Levenson, R. M., Chung, L. W. K., Nie, S. (2004). In vivo cancer targeting and imaging with semiconductor quantum dots. *Nature Biotechnology*, 22, 969-976.
- Goldman, E. R, Mattoussi, H., Kuno, M. K., Mauro, J. M., Tran, P. T., Anderson, G. P. (2002). Avidin: A Natural Bridge for Quantum Dot-Antibody Conjugates. *J. Am. Chem. Soc.*, 124, 6378-6382.
- González Noya, A. M., Maneiro Maneiro, M., Pedrido, R. e Bermejo, M. R. (2015). Os nanomateriais inorgánicos. *Boletín das Ciencias, XXVIII Congreso de Enciga*, 81, 55.
- González Noya, A. M., Maneiro Maneiro, M., Pedrido, R. e Bermejo, M. R. (2016). Que son as nanopartículas metálicas. *Boletín das Ciencias, XXIX Congreso de Enciga* 82, 35.
- González Noya, A. M., Maneiro Maneiro, M., Pedrido Castiñeiras, R. e Bermejo Patiño, M. R. (2017). Como é a química dos nanomateriais metálicos. *Boletín das Ciencias*, 83, 55-68.
- González Noya, A. M., Maneiro, M., Pedrido, R. e Bermejo, M. R. (2017). Que son os Puntos Cuánticos (PC) ou Quantum Dots (QD). *Boletín das Ciencias, XXX Congreso de Enciga*, 84, 53-54.
- González, A., Maneiro, M., Bermejo, M. R. e Pedrido, R. (2018). Que son as Nanopartículas Metálicas. *Boletín das Ciencias*, 85, 11-25.
- Jiang, B., Perrin, L, Kats, D, Meade, T, Ameer, G. (2015). Enabling non-invasive assessment of an engineered endothelium on ePTFE vascular grafts without increasing oxidative stress. *Biomaterials*, 69, 110-120.
- Juárez, B.H. (2011). Nanopartículas coloidales y aplicaciones. *Anales de Química*, 107(3), 229-236.
- Medintz, I. L., Uyeda, H. T., Goldman, E. R., Mattoussi, H. (2005). Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing. *Nature Materials*, 4, 435-446.
- Meng, X.-B., Sheng, J.-L., Tang, H.-L., Sun, X.-J., Dong, H., Zhang, F.-M. (2019). Metal-organic framework as nanoreactors to co-incorporate carbon nanodots and CdS quantum dots into the pores for

improved H₂ evolution without noble-metal cocatalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 244, 340-346.

Song, S. Y. (2007). Future direction of nanomedicine in gastrointestinal cancer. *Korean Gastroenterology*, 49, 271-279.

Vázquez González, M. (2015). Sondas fluorescentes acuosolubles para metales tóxicos. *Tese Doutoral*, Universidade de Santiago de Compostela. Unha moi completa revisión sobre *Puntos Cuánticos* baseados no carozo CdTe, con moi moderna bibliografía.

O VALOR DA PRESIÓN ESTÁNDAR RECOMENDADO POLA IUPAC E AS SÚAS IMPLICACIÓNS NA DIDÁCTICA DA QUÍMICA

ABELENDALAMEIRO, NATALIA

IES Terra de Soneira. Vimianzo

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1982 a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) recomenda para a presión estándar, $p^\ominus$ ou p° , o valor de 10^5 Pa (=1 bar). Ata ese momento o valor habitualmente empregado era 101325 Pa (=1 atm).

A IUPAC recolle así mesmo o termo “normal” -por exemplo en expresións como *temperatura de ebulición normal*- para referirse ao valor da magnitude a unha presión de 101325 Pa (=1 atm).

Os conceptos de presión estándar e presión normal son confundidos en moitos libros de texto de secundaria e mesmo de nivel universitario publicados con posterioridade ao ano 1982.

Unha imprecisión frecuente é a de seguir asumindo como valor estándar da presión 1 atm no lugar de 1 bar. Pese a que ambos valores non son moi diferentes isto conleva a diferenzas non sempre desprezables cando se calculan por exemplo volumes de gases ou constantes de equilibrio termodinámicas.

2. VOLUME MOLAR DUN GAS IDEAL EN CONDICIÓNS ESTÁNDAR

A IUPAC define como condicións estándar para gases as correspondentes a unha temperatura de 273,15 K (0 °C) e unha presión de 10^5 Pa (1 bar).

Podemos calcular así o volume correspondente a 1 mol dun gas con comportamento ideal en condicións estándar substituindo estes valores na ecuación de estado: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

$$10^5 \cdot V = 1 \cdot 8,314 \cdot 273,15 \rightarrow V = 0,0227 \text{ m}^3 \rightarrow V = 22,7 \text{ L}$$

Tal e como pode apreciarse este valor difire apreciablemente (1,3%) do que se obtén considerando como valor da presión 1 atm:

$$1 \cdot V = 1 \cdot 0,082 \cdot 273,15 \rightarrow V = 22,4 \text{ L}$$

Aínda que este último resultado podería entenderse como un volume “normal”, non é a presión

exercida pola atmosfera terrestre sobre o nivel do mar senón o máis achegado a este múltiplo decimal da unidade da presión no Sistema Internacional o valor establecido pola IUPAC nas condicións de referencia para gases.

3. VALOR ESTÁNDAR DAS FUNCIÓNS TERMODINÁMICAS

Os valores estándar das funcións termodinámicas e/ou das súas variacións están referidos ao estado estándar das substancias implicadas. Este estado está caracterizado segundo a IUPAC pola presión estándar (1 bar), a molalidade ou cantidade de concentración, pero non pola temperatura -aínda que xeralmente os valores tabulados corresponden á temperatura especificada de 298,15 K (25 °C)-. Os valores estándar diferéncianse tamén cun superíndice $^\ominus$ ou $^\circ$ (por exemplo: $\Delta H_r^\ominus$, $S^\ominus$, $\Delta G_r^\ominus$).

Obsérvase que algunhas táboas de datos de $\Delta H_r^\ominus$, $S^\ominus$, $\Delta G_r^\ominus$ recollidas na bibliografía máis actual aínda están referidas, porén, ao valor de 1 atm. Incluso os autores que mencionan aquí 1 bar como presión de referencia (Petrucchi et al, 2017) aclaran que os efectos do cambio no valor estándar da presión son moi pequenos, case sempre o suficiente pequenos como para ser desprezados.

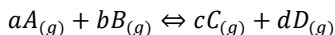
4. CONSTANTE DE EQUILIBRIO ESTÁNDAR OU TERMODINÁMICA

A IUPAC define a constante de equilibrio estándar ou termodinámica, $K^\ominus$ ou simplemente K , a partir da expresión:

$$K^\ominus = e^{\frac{-\Delta G_r^\ominus}{R \cdot T}}$$

onde $\Delta G_r^\ominus$ é a enerxía de Gibbs de reacción estándar, R é a constante dos gases e T a temperatura termodinámica. Da anterior ecuación pode inferirse que $K^\ominus$ é unha magnitude adimensional.

Para un equilibrio químico entre gases con comportamento ideal:



a constante de equilibrio estándar, $K^\ominus$, defínese en función das actividades -a actividade dun gas nunha mestura ideal é a relación da súa presión parcial e a presión estándar ($p^\ominus=1$ bar)-:

$$K^\ominus = \frac{\left(\frac{p_{C,eq}}{p^\ominus}\right)^c \cdot \left(\frac{p_{D,eq}}{p^\ominus}\right)^d}{\left(\frac{p_{A,eq}}{p^\ominus}\right)^a \cdot \left(\frac{p_{B,eq}}{p^\ominus}\right)^b}$$

Tal e como pode apreciarse a adimensionalidade da constante de equilibrio termodinámica esixe que as presións parciais dos gases que participan na reacción se expresen en bar. A introdución das presións parciais noutras unidades de uso frecuente como a atmosfera (atm) non conduce en xeral a un resultado adimensional.

A IUPAC define por outra banda o concepto xenérico de constante de equilibrio como unha cantidade que caracteriza o estado de equilibrio dunha reacción química e definido por unha expresión do tipo:

$$K_X = \prod_B x_B^{v_B}$$

onde v_B é o número estequiométrico dun reactivo (negativo) ou produto (positivo) e x refírese a unha cantidade que pode ser o valor no equilibrio da presión, fugacidade, concentración molar, fracción molar, molalidade, actividade relativa ou actividade absoluta, definindo a constante de equilibrio baseada na presión, na fugacidade, na concentración, na fracción molar, na molalidade, na actividade relativa ou a constante de equilibrio estándar (denotada entón $K^\ominus$), respectivamente.

Desta forma pode definirse por exemplo a constante de equilibrio K_p :

$$K_p = \frac{p_{C,eq}^c \cdot p_{D,eq}^d}{p_{A,eq}^a \cdot p_{B,eq}^b}$$

como unha magnitude “experimental” (Quílez e Quílez, 2013, 2014) cuxa unidade dependerá das unidades nas que se expresen as presións parciais. Así, no caso habitual de que se expresen en atm as unidades de K_p serán $\text{atm}^{\Delta n}$ sendo $\Delta n = c + d - (a + b)$

A relación entre K° e K_p é polo tanto: $K^\circ = \frac{K_p}{(p^\circ)^{\Delta n}}$

No caso particular no que $\Delta n = 0$ (non existe variación no número de moles de reactivos a produtos) cúmprese que: $K^\circ = K_p$, sendo ambas constantes adimensionais. Pero se $\Delta n \neq 0$, ao ser $p^\circ = 1$ bar, os valores numéricos de K° e K_p só coincidirán se K_p se expresa en $\text{bar}^{\Delta n}$.

Dada a proximidade entre o valor do bar e a atm, cando K_p se expresa en $\text{atm}^{\Delta n}$ a diferenza entre o valor de K_p e K° -aínda que significativa en moitos casos- non adoita ser en xeral superior ao 5% (Quílez e Quílez, 2013).

De forma análoga pode definirse a constante de equilibrio “experimental” K_c :

$$K_c = \frac{c_{C,eq}^c \cdot c_{D,eq}^d}{c_{A,eq}^a \cdot c_{B,eq}^b}$$

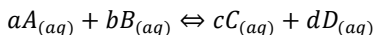
cuxas unidades dependerán das unidades nas que se exprese a concentración. Así no caso habitual de que se expresen en mol/L, as unidades de K_c serán: $(\text{mol/L})^{\Delta n}$.

Tendo en conta a relación que existe para un gas ideal entre a súa presión parcial e a concentración molar: $p_i = c_i \cdot R \cdot T$ podemos relacionar as constantes de equilibrio K_p e K_c :

$$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n}$$

Como pode observarse as unidades nas que se exprese a constante R deberán ser coherentes coas de K_c e determinarán a súa vez as unidades de K_p . Así, se K_c se expresa en $(\text{mol/L})^{\Delta n}$ e queremos obter o valor de K_p en $\text{bar}^{\Delta n}$ (valor numérico coincidente co da constante de equilibrio estándar) debemos tomar: $R = 0,083 \text{ bar} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ e se queremos obter K_p en $\text{atm}^{\Delta n}$ debemos tomar: $R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.

Por outra banda, se consideramos unha reacción en equilibrio entre especies que se atopan nunha disolución líquida diluída -por exemplo acuosa-, as interaccións entre as partículas de soluto (moléculas ou ións) poden ser desprezadas de forma análoga a como acontecía coas moléculas nun gas ideal:



A presión do gas debe ser substituída aquí pola presión osmótica, Π , ou exceso de presión necesaria para manter o equilibrio osmótico entre a disolución e o disolvente puro separado por unha membrana permeable só ao disolvente.

$$\Pi_i = R \cdot T \cdot c_i$$

onde o subíndice “i” se refire ás moléculas, ións...etc de soluto movéndose individualmente, independentemente da súa natureza.

Sendo a magnitude para a que se establece o valor de referencia agora a concentración molar -e non a presión osmótica-, a actividade da cada especie na mestura ideal será igual á relación da súa concentración molar e a concentración molar de referencia:

$$a_i = \frac{\Pi_i}{\Pi^o} \rightarrow a_i = \frac{R \cdot T \cdot c_i}{R \cdot T \cdot c^o} \rightarrow a_i = \frac{c_i}{c^o}$$

A IUPAC define precisamente a concentración molar estándar como o valor elixido de referencia, denotado por c^o ou c^o , e usualmente igual a 1 mol/dm³.

A constante de equilibrio termodinámica, K^o , resulta entón:

$$K^o = \frac{\left(\frac{c_{C,eq}}{c^o}\right)^c \cdot \left(\frac{c_{D,eq}}{c^o}\right)^d}{\left(\frac{c_{A,eq}}{c^o}\right)^a \cdot \left(\frac{c_{B,eq}}{c^o}\right)^b}$$

A relación entre K^o e K_c será: $K^o = \frac{K_c}{(c^o)^{\Delta n}}$, polo que considerando $c^o=1$ mol/L, cando $\Delta n \neq 0$ os valores numéricos de K^o e K_c só coincidirán se K_c se expresa en (mol/L) ^{Δn} .

5. FORZA ELECTROMOTRIZ ESTÁNDAR E POTENCIAL DE ELECTRODO ESTÁNDAR

De acordo coa IUPAC a forza electromotriz estándar é unha cantidade definida como:

$$E^o = -\frac{\Delta G_r^o}{n \cdot F} \rightarrow E^o = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln K^o$$

onde ΔG_r^o é a enerxía de Gibbs estándar da reacción da célula na dirección na que a redución ocorre no electrodo do lado dereito do diagrama que representa a célula (“redución á dereita”), K^o a constante de equilibrio estándar para esta reacción, n é o número de carga, F a constante de Faraday, R a constante dos gases e T a temperatura termodinámica.

Asemade o potencial de electrodo estándar, E^o , é descrito pola IUPAC como o valor da fem estándar dunha célula onde o hidróxeno molecular a presión estándar é oxidado a protóns solvatados no electrodo do lado esquerdo.

Sen embargo, a principal bibliografía de referencia consultada segue basando os datos de E^o no antigo valor de 1 atm. Incluso os autores de libros de Química Xeral máis rigorosos no que se refire ao tratamento da presente cuestión (Petrucci et al, 2017) xustifican que a diferenza entre os valores de E^o definidos respecto ao antigo e o novo estándar de presión é tan pequena que os valores poden utilizarse indistintamente. Estes autores chegan a estimar mediante ecuacións que esta diferenza ronda a penas os 0,3 mV -valor que explican é normalmente menor que a precisión dos datos tabulados-.

6. CONCLUSIÓNS

Desde hai xa varias décadas o valor da presión estándar recomendado pola IUPAC é 1 bar. O uso do anterior valor, 1 atm, conduce a imprecisións en diferentes eidos da Química.

Así, o volume molar dun gas ideal en condicións estándar (0 °C e 1 bar) é lixeiramente maior que en condicións normais (0 °C e 1 atm).

É tamén importante diferenciar a constante de equilibrio termodinámica, K^o , que é adimensional fronte a outras posibles constantes “experimentais” que en xeral si teñen unidades. Algúns autores (Quílez e Quílez, 2013) mesmo propoñen introducir soamente estas últimas constantes en 2º Bacharelato, deixando a constante de equilibrio termodinámica para o nivel universitario.

O cambio de 1 atm a 1 bar no valor estándar da presión non parece implicar cambios apreciables nos valores estándar das funcións termodinámicas nin nos dos potenciais de electrodo estándar. Debería en todo caso aclararse aquí o novo valor da presión estándar e axustar na medida do posible as

condicións de medida experimental futuras a esta nova referencia.

7. REFERENCIAS

KUHN H., FÖRSTERLING H.-D. e WALDECK D. H. (2012). Principios de fisicoquímica. 2ª ed, Cengage Learning Editores: México.

PETRUCCI R. H. et al. (2017). Química General: Principios y aplicaciones modernas. 11ª ed. Pearson: Madrid.

QUÍLEZ-DÍAZ A. e QUÍLEZ-PARDO J. (2013). ¿Tiene(n) unidades la(s) constante(s) de equilibrio?. *Anales de Química* 109 (1), 34-37.

QUÍLEZ-DÍAZ A. e QUÍLEZ-PARDO J. (2014). Definición y cálculo de las constantes de equilibrio en los libros de texto de Química general preuniversitarios y universitarios. *Enseñanza de las Ciencias* 32(3), 187-203.

<https://iupac.org/who-we-are/>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.S05921>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.N04211>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.S05910>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.S05925>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.S05915>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.E02177>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.S05909>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.S05913>

<https://doi.org/10.1351/goldbook.S05912>

PROPOSTA DIDÁCTICA E DISEÑO DUN EXPERIMENTO SOBRE A FORZA DE ROZAMENTO EN SUPERFICIES

CABODEVILA PIVIDAL, ISMAEL

ROMERO, MARÍA J.

Departamento de Didácticas Aplicadas

Facultade de Formación do Profesorado

Universidade de Santiago de Compostela

1. INTRODUCCIÓN

Hoxe en día, a Física e a Química enténdense como parte ou porción de algo máis grande que denominamos Ciencias. Neste senso, concíbese ciencia como “unha parte importante da nosa cultura porque ofrece un conxunto de historias explicativas substantivas que nos contan cousas novas importantes e interesantes sobre nós mesmos e sobre o mundo no que vivimos, cousas que demostraron ser perfectamente fiables e útiles” (Benlloch, 2002, p. 43). Isto non debe ser entendido no sentido de que a ciencia ten un valor de autoridade absoluta en canto ao coñecemento da realidade do mundo que nos rodea. Máis ben, a ciencia debe ser entendida como un compendio de coñecemento baseado na observación, que nos ofrece unha realidade novidosa e sorprendente que se encontra lonxe, na maioría de ocasións, do que parece ser algo de modo inmediato, e na cal se pode confiar, tanto para actuar no noso día a día, como para desenvolver avances científicos ou tecnolóxicos que melloren a nosa vida (Benlloch, 2002). Ninguén dubida da necesidade de transmitir estes coñecementos científicos ás novas xeracións e que estas sexan quen de adquirilos de forma axeitada. Neste sentido, débese destacar o papel clave que vai xogar a escola, entendida como o principal axente responsable da reprodución cultural (Benlloch, 2002) e, en consecuencia, da ciencia.

A ensinanza das ciencias asúmese como algo fundamental na actualidade, porén non foi así en todos os tempos históricos e “a xeneralización do seu estudo tivo lugar ao longo do século XX, especialmente despois da Segunda Guerra Mundial” (Sanmartí Puig, 2002, p. 11). Nos inicios do século XIX estaba reservada aos estudantes de “artes mecánicas”, ciencia militar ou agricultura. Foi a finais dese século cando, motivado pola aparición de novas profesións que necesitaban do coñecemento científico, se comezou a sistematizar o estudo da ciencia como “materias”. Dende entón, separáronse e diferenciáronse entre as disciplinas de Física, Química e Bioloxía, manténdose, case sen cambios ata hoxe. A partir da segunda metade do século XX comezouse a demandar por parte da sociedade unha maior e mellor formación científica. Isto motivou a aparición de investigacións sobre os problemas relacionados coa ensinanza das ciencias, consolidando un novo campo de investigación, a Didáctica das Ciencias. Esta disciplina tenta dar resposta aos retos sobre as novas necesidades de educación científica. Deste xeito, inténtanse resolver os problemas que xorden ao ensinar as propias ciencias.

En Europa evidénciase un desinterese cada vez maior polos estudos de ámbito científico entre o alumnado. Esta problemática acrecéntase en áreas clave para o desenvolvemento socio-económico como, por exemplo, as Matemáticas, a Química e a Física. As razóns disto non son sinxelas, mais tamén existen firmes evidencias entre estas actitudes e o xeito no que a ciencia é ensinada (Rocard *et al.*, 2007). Algúns autores suxiren que, tanto a orixe, como probablemente a solución atópanse na ciencia estudada durante a educación secundaria (Ametller *et al.*, 2011). Pódese dicir que unha ampla porcentaxe do alumnado de secundaria mostra unha actitude inadecuada ante as disciplinas de ámbito científico e, polo tanto, ante a materia de Física e Química.

Neste contexto, existe unha clara preocupación entre o profesorado por desenvolver a competencia científica nos estudantes. Por iso, foron moitos os/as especialistas en Didáctica das Ciencias que aportaron diversas alternativas para tentar resolver este problema, citándose algúns exemplos como: incluír as relacións ciencia, tecnoloxía e sociedade (CTS), o uso da propia historia da ciencia, o emprego de contidos científicos presentes nos medios de comunicación, a realización de traballos prácticos, en especial os que impliquen á indagación e á argumentación, etc. Pódese resaltar que hoxe en día a ensinanza das ciencias propón obxectivos relacionados tanto co *saber* como co *facen ciencias*. Para iso cobra especial importancia que o alumnado practique o traballo científico e se enfrente a situacións problemáticas realistas, é dicir, débese ofrecer a posibilidade de que practiquen a indagación (Cañal de León e Perales Palacios, 2000).

Polo tanto, pódese dicir que o proceso de ensinanza-aprendizaxe das materias científicas en xeral, e da Física e Química en particular, presenta na actualidade moitos retos orientados a solucionar e/ou mellorar as dificultades de aprendizaxe asociadas a estas disciplinas. Por esta razón, as persoas involucradas na ensinanza das ciencias están a explorar novas metodoloxías co obxectivo de mellorar o proceso de ensinanza-aprendizaxe.

Entre os contidos máis difíciles de asimilar por parte do alumnado das materias de Física e Química atópanse aqueles relacionados coas forzas e os seus efectos. Na literatura hai descritas algunhas estratexias didácticas de carácter experimental para o ensino das forzas de rozamento na aula como se mostra na Figura 1 (Besson, Borghi, De Ambrosis e Mascheretti, 2007; Besson, Borghi, De Ambrosis e Mascheretti, 2010).

Este traballo que presentamos consistiu nunha proposta de intervención nunha aula de secundaria, cuxo obxectivo principal foi acadar unha mellora na comprensión e aprendizaxe das forzas de rozamento por parte do alumnado. A proposta baseouse nun *problema auténtico* que foi resolto no laboratorio mediante un proceso de indagación. Ademais analizouse a idoneidade deste tipo de propostas metodolóxicas na mellora das actitudes do alumnado ante as disciplinas científicas.

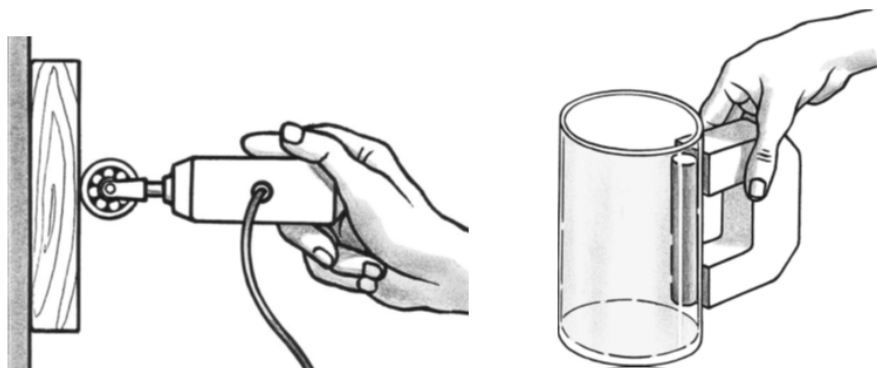


Figura 1. Exemplos de experiencias na aula para o estudo de varios tipos de rozamento. Figuras reproducidas do artigo de Besson *et al.* (2007), co permiso da American Association of Physics Teachers.

2. PROBLEMAS AUTÉNTICOS, INDAGACIÓN E ANDAMIAXE

As metodoloxías empregadas na aula son fundamentais para dar solución á problemática que existe en relación ás actitudes dos discentes ante as disciplinas científicas. Na actualidade a aprendizaxe das ciencias inclúe por en práctica o traballo científico, é dicir, realizar indagacións (entre outras). En particular, ten especial relevancia a resolución de actividades baseadas nun contexto problemático (Cañal de León e Perales Palacios, 2000).

Un bo contexto problemático pódese conseguir cos problemas auténticos. Un problema auténtico pódese entender como aquel no que se dan fundamentalmente dúas condicións: a primeira é que o contexto deste sexa relevante para os estudantes e a segunda é que o uso dos datos, a súa representación e formato sexan como os empregados polos científicos (Duschl, 1998). É dicir, tanto a forma de resolución, como a análise dos datos e probas, debe seguir pautas similares ás dun traballo científico real (Cañal de León e Perales Palacios, 2000). Deste xeito, seguindo a estes autores, para ensinar as ciencias partindo da resolución de problemas emprégase ás veces o termo *indagación* (Cañal de León e Perales Palacios, 2000). Neste sentido, os materiais que introduzan innovacións no dominio dos procedementos do traballo científico, son interesantes e necesarios, debido á relación directa co obxectivo de saber facer ciencia. Pódese dicir que para acadar este obxectivo é necesario aprender facendo (Lozano Lucia e Solbes Matarredona, 2014).

Os problemas auténticos deben reunir as seguintes características: 1) non teñen unha solución inmediata nin obvia, 2) deben existir varias solucións posibles ou varios camiños para resolvelos (deben ser abertos), 3) teñen que presentar situacións realistas e contextualizadas nas que o alumnado sexa quen de establecer relacións entre as actividades e a vida real, e 4) deben requirir do uso de procesos de indagación na súa resolución (Jiménez Aleixandre, 2010).

Segundo o National Research Council (NRC),

a indagación é unha actividade polifacética que involucra facer observacións; propoñer preguntas; examinar libros e outras fontes de información para ver que é o que xa se sabe; planificar investigacións; revisar o que se sabe á luz da evidencia experimental; utilizar ferramentas para recoller, analizar e interpretar datos; propoñer respostas, explicacións e predicións; e comunicar os resultados (NRC, 1996, p. 23).

Facer ciencias no laboratorio é posible e depende de como se deseñen as situacións de instrución. Os traballos prácticos de resolución de problemas auténticos no laboratorio que requiran para resolvelos dun proceso de indagación, son unha opción moi interesante para que os discentes dispoñan de oportunidades para practicar o traballo científico e, polo tanto, desenvolver a competencia científica.

Por outro lado, a metodoloxía empregada durante as sesións da proposta está influenciada pola andamiae. O termo andamiae fai referencia ao proceso de axuda que se lle presta a unha persoa principiante para que sexa quen de alcanzar metas que non sería capaz de acadar sen a axuda dunha persoa experta (Wood, Bruner e Ross, 1976). Neste sentido, Van de Pol, Volman e Beishuizen (2010) identificaron o seguinte marco de seis estratexias para guiar o proceso de andamiae:

1. **Retroalimentación:** darlle información ao estudante sobre o seu rendemento.
2. **Dar pistas:** facer suxestións ou dar pistas sobre a tarefa para axudarlles aos discentes no proceso de resolución, mais sen proporcionar nunca a solución completa ou instrucións detalladas.
3. **Instrución:** o profesor di aos estudantes que deben facer ou como facelo e porque.
4. **Explicación:** o docente proporciona información máis detallada ou aclaracións.
5. **Modelaxe:** refírese ao proceso no que o profesor ofrece unha forma ou comportamento para ser imitado polo alumnado.
6. **Pregunta:** consiste en facer preguntas aos discentes que requiran dunha resposta lingüística e cognitiva activa.

3. PROPOSTA DIDÁCTICA SOBRE AS FORZAS DE ROZAMENTO

3.1. Contexto, xustificación e desenvolvemento da proposta

Esta proposta foi levada a cabo nun centro público rural da provincia de Lugo, desenvolvéndose nunha aula de 4º da ESO de Física e Química. O grupo-clase estaba formado por 7 discentes e, para levar a cabo a actividade, dividiuse en dous grupos integrados por 3 e 4 alumnos respectivamente. Un grupo clase destas características facilita a organización de actividades de traballo en equipo, así como a interacción e participación de todos eles durante a clase. Isto pode axudar a fomentar a adquisición de certas competencias relativas ao traballo en grupo e á iniciativa persoal. Esta metodoloxía de traballo empregouse para ofrecerlle aos discentes a oportunidade de practicar o traballo científico e, polo tanto, aprender ciencia facendo ciencia. Neste traballo deseñouse unha proposta didáctica organizada en 3 sesións.

Debido á obrigatoriedade desta materia no 2º e 3º curso da ESO, o alumnado ten coñecementos previos relacionados coa disciplina. Para a elaboración desta proposta didáctica empregáronse os contidos do bloque 4 do currículo desta materia, en concreto os conceptos relacionados coas forzas. Os conceptos traballados en cada unha das sesións das que consta esta proposta didáctica indicáronse no apartado 3.2.

A primeira e segunda sesión, destináronse a explicacións teóricas e exercicios de resolución de problemas máis formais. Para a sesión 3 deseñouse un problema auténtico relacionado coas forzas de rozamento para ser resolto no laboratorio polo alumnado mediante un proceso de indagación. O alumnado tivo que recoller os resultados nunha memoria de prácticas e responder a unha serie de cuestións. Ademais recolleuse a opinión dos discentes sobre este tipo de actividades para analizar a idoneidade destas propostas metodolóxicas na mellora das actitudes do alumnado ante as disciplinas científicas.

3.2. Planificación da proposta didáctica e recollida de datos

Para favorecer o construtivismo, especialmente nas sesións máis teóricas (1ª e 2ª sesión) seguíronse as estratexias de andamiaxe definidas anteriormente na orde que se explica: as preguntas (6) e pistas (2) en primeiro lugar para despois ofrecer a explicación teórica (4) ou a exemplificación/resolución dos problemas prácticos (3 e 5). Na terceira sesión tamén se ofreceu a retroalimentación (1) aos discentes entregando, logo da corrección e puntuación das súas memorias de laboratorio, un modelo coas respostas que se consideran correctas. Deste xeito, o alumnado dispuxo dun documento de referencia para poder comparar as súas respostas. Ademais tamén se buscou fomentar a reflexión sobre a propia aprendizaxe e a reconstrución do coñecemento a partir dos erros.

A continuación indícase a organización das actividades e contidos traballados nas diferentes sesións:

- **Sesión 1. Forzas e a súa natureza vectorial (I):** esta sesión foi destinada a introducir e explicar os conceptos teóricos relacionados coas forzas para que o alumnado fose capaz de identificalas en situacións da vida cotiá e relacionalas cos efectos que producen nos corpos (deformacións e cambios no estado de movemento). Ademais disto, traballáronse a medida de forzas e os aparellos empregados, a natureza vectorial e os elementos que as conforman, interacción das forzas cos corpos, compoñentes e resultante, así como as diferentes casuísticas dadas.
- **Sesión 2. Natureza vectorial das forzas (II) e forzas de especial interese:** nesta sesión explicáronse os conceptos de equilibrio de forzas, descomposición de forzas e as forzas de especial interese (peso, forza normal e de rozamento). Para cerrar a sesión proxectouse un vídeo sobre a influencia da forza de rozamento na vida cotiá. Ademais fíxose entrega do guión de laboratorio que se levaría a cabo na seguinte sesión. Desta forma, os discentes tiveron a oportunidade de lelo e de reflexionar sobre el entre unha sesión e outra.
- **Sesión 3. Práctica de laboratorio (determinación do coeficiente de rozamento):** esta

sesión serviu para que o alumnado puidese levar á práctica os conceptos estudados nas sesións anteriores. Na actividade proposta presentóuselle ao alumnado un *problema auténtico*. Para iso, deseñouse un guión de laboratorio (ver Anexo I) no cal se describe unha situación problemática da vida real. A maiores deste guión, o alumnado dispuxo dunha serie de materiais para dar solución ao problema proposto.

- En concreto, a través desta actividade os estudantes deberan aprender a determinar a forza de rozamento de xeito experimental e relacionala co coeficiente de rozamento existente entre un par de superficies. Desta forma, deberan recoñecer a influencia significativa deste coeficiente sobre o movemento dos corpos na vida cotiá e extraer as conclusións oportunas para poder dar unha solución cientificamente argumentada ao problema proposto. A continuación, indícanse as tres fases fundamentais desenvoltas durante a terceira sesión:
 - **Organización dos grupos e explicación da práctica:** esta fase levouse a cabo durante a primeira parte da sesión. Dividiuse o grupo-clase formando dous subgrupos, un de 3 e outro de 4 persoas. Para isto tentouse que o nivel de ambos os dous fose o máis homoxéneo posible. A continuación, os grupos tiveron certo tempo para comentar os aspectos nos que lles quedaron dúbidas logo da lectura individual do guión. Por último estableceuse un novo coloquio entre os grupos e o profesor para calquera aspecto que quedase sen entender.
 - **Realización da práctica por parte do alumnado:** logo da fase anterior foron os propios discentes os que deberon enxeñar o método para poder determinar a forza de rozamento cos materiais proporcionados. Para iso, tiveron que relacionar os conceptos de densidade, masa, volume e peso. Tamén foi necesario que realizasen un esquema sobre o proceso experimental que seguiron. Serviúlles para establecer a condición de equilibrio de forzas grazas á cal puideron calcular a forza de rozamento. Realizaron a determinación da forza de rozamento en dúas situacións diferentes, unha deixando un taco de madeira sobre unha superficie lisa e outra sobre un papel de lixa. Cada grupo realizou a práctica nun dos supostos anteriores. Deste xeito, os grupos mediron a forza necesaria para que o taco de madeira esvare sobre a súa superficie concreta.
 - **Elaboración da memoria de prácticas:** nesta memoria (ver Anexo II) os discentes debían incluír os datos recollidos no laboratorio que lles permitiron contestar ás cuestións propostas. Os datos e os cálculos debíanse recoller de forma ordenada e clara utilizando correctamente o Sistema Internacional. Deberían incluír tamén a explicación do deseño experimental que os levou a determinar os diferentes datos. Por último, pedíuselle ao alumnado que extraese conclusións argumentadas e baseadas nos datos experimentais sobre as cuestións recollidas no guión de laboratorio.

A recollida de datos para coñecer a opinión dos discentes ante este tipo de metodoloxías fíxose grazas a uns cuestionarios de opinión cos que cada alumno valorou os diferentes aspectos desta sesión. Nestes incluíronse diferentes preguntas para valorar a actividade de xeito cuantitativo (nota de 0 a 10) e de xeito cualitativo (valoracións persoais). Ademais, as observacións realizadas durante o transcurso da sesión tamén foron de axuda para completar o estudo.

3.3. Guión, montaxe e resolución da actividade

Neste traballo propúxoselles aos discentes un problema auténtico para resolver no laboratorio. Para isto, elaborouse un guión de laboratorio no cal se describe unha situación problemática da vida real, afastándose, deste xeito, dun guión de tipo clásico.

A diferenza entre un guión clásico e un guión tipo problema auténtico reside, de maneira fundamental, na forma na que unha mesma problemática é proposta. No primeiro caso preséntase o problema de

xeito illado, é dicir, formúlase unha problemática de laboratorio para ser resolta seguindo un método e empregando uns útiles tamén descritos no propio guión. Dito doutro xeito, non busca establecer relacións coa vida real, senón que só se busca establecer relacións entre variables ou ben ilustrar un principio. Deste forma, a solución ao problema e/ou camiño para chegar a ela son únicos.

En cambio, nun guión onde se propón un problema auténtico, búscase a relación entre a actividade e a vida real. Por iso, preséntase unha situación contextualizada e realista. Como calquera outro problema real non ten unha solución inmediata nin obvia. Polo tanto, ás veces teñen varias solucións igualmente válidas ou, no seu defecto, existen varios procesos válidos para chegar á solución. Por este motivo, necesítase de procesos de indagación durante a súa resolución, é dicir, requiren elaborar pequenas investigacións para seren resoltos. Na Táboa 1 pódense observar algúns exemplos destas diferenzas.

Táboa 1. Exemplos de diferenzas de formulación entre un guión clásico e un baseado nun problema auténtico.

Guión clásico	Guión tipo problema auténtico
Determina en que par de superficies a forza de rozamento é maior	No instituto ensináronche a relación existente entre a forza de rozamento e o movemento dos corpos. Cando vas no coche ves que teus pais gardan a mesma distancia de seguridade co vehículo de diante chova, faga sol, neve ou haxa xeadada. Eles dinche que se pasara algo deteríanse do mesmo modo pero ti queres convencerlos de que iso non é así. Indica os argumentos científicos que debes empregar
Determina en que par de superficies o coeficiente de rozamento é maior	Queres cubrir unha azotea con baldosas. Na tenda existen varias alternativas. Elixe a máis segura

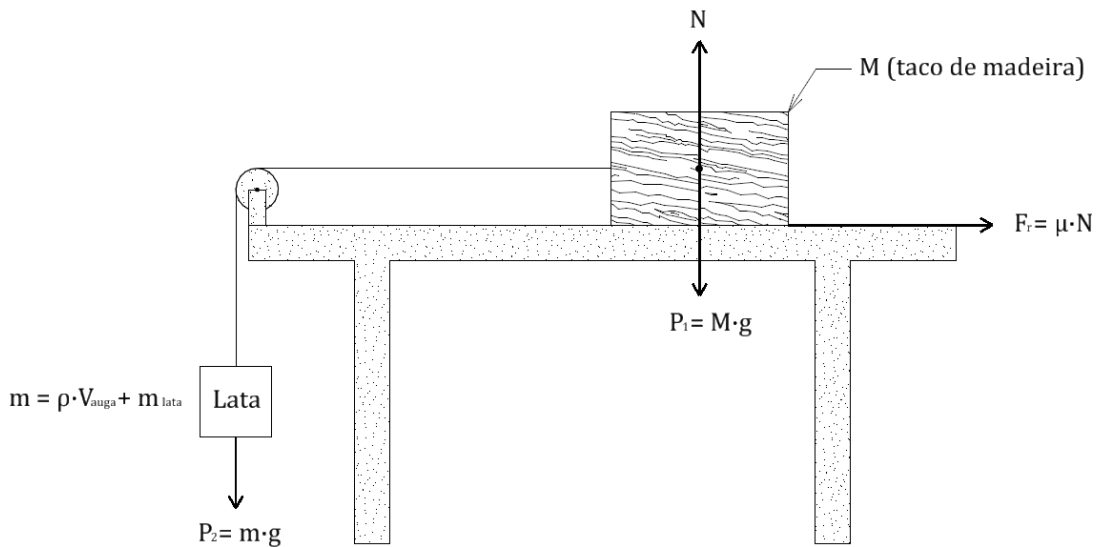


Figura 2. Montaxe teórica para a realización da actividade.

Para determinar o coeficiente de rozamento debería reproducirse o esquema teórico da Figura 2, para o cal deseñouse a montaxe que se mostra na Figura 3, puxéronse as superficies que se querían ensaiar sobre a mesa. Empregouse un taco de madeira para incrustar unhas rodas nel. Fixáronse estas superficies á mesa grazas aos sarxentos. Tamén se usou un taco de madeira (obxecto que se vai a desprazar) ao que se lle cravou unha alcaíata para poder pasar un fío ao seu través. Empregouse unha lata baleira para utilizala como obxecto colgado e, polo tanto, como peso para aplicar a forza ao taco de madeira empregado no ensaio. Para elo uníronse os dous obxectos grazas a un fío que se pasou pola montaxe da roda explicada anteriormente.

O proceso de ensaio consistiu en aumentar pouco a pouco o peso colgado e así a forza aplicada. Para aumentar a forza aplicada, debemos ir introducindo auga na lata en pequenas cantidades, de forma que saibamos en todo momento o volume de líquido existente dentro da lata, para o cal podemos empregar unha probeta e pipeta graduadas. Desta maneira, pódese calcular a forza necesaria para provocar que o taco esvare sobre a superficie ensaiada.

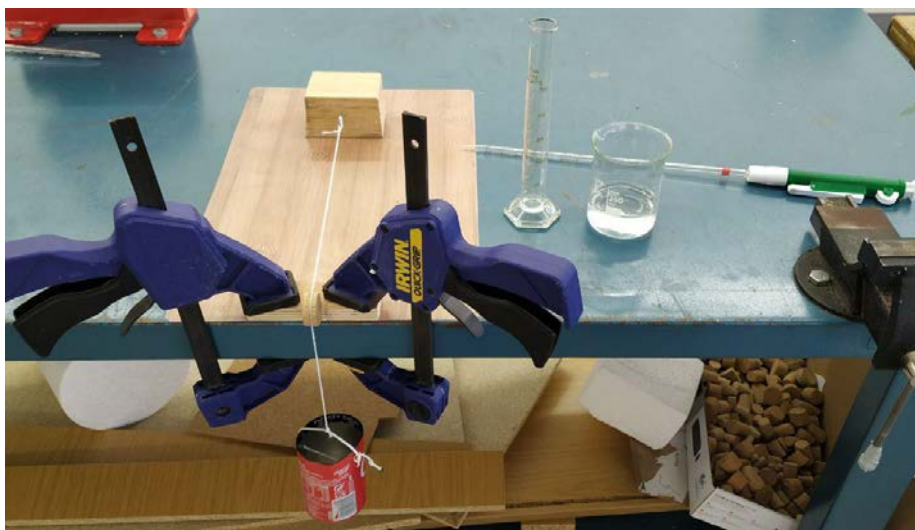


Figura 3. Montaxe experimental e materiais necesarios para a realización da actividade de indagación.

Para poder calcular esta forza é necesario ter presente o concepto de densidade. Grazas á densidade coñecida da auga e á medida do volume de auga que se introduce na lata, pódese determinar a masa de líquido. Por último, débese ter en conta a masa da lata antes de comezar a introducir auga nela. Para iso débese empregar unha balanza. Unha vez determinada a masa de líquido e a masa da lata, débense sumar (m) para poder calcular o peso do conxunto (P_2) e, polo tanto, a forza que se aplica sobre o taco de madeira. Unha vez determinada a forza aplicada e coñecendo a masa do taco de madeira (M) que se determina empregando a balanza, pódese calcular de xeito sinxelo o coeficiente de rozamento (μ) mediante o equilibrio de forzas.

4. PRINCIPAIS RESULTADOS E CONCLUSIÓNS

A modo de resumo, como resultado principal poderíamos destacar que o alumnado mostrou un interese e curiosidade especial pola actividade proposta, así como pola participación en prácticas científicas, neste caso a resolución dun *problema auténtico* mediante un proceso de indagación. En canto á memoria de prácticas elaborada polos estudantes, cabería destacar a pouca reflexión que mostraron nalgunhas das respostas ás preguntas formuladas no guión, aínda que contestaron correctamente ao 75% das preguntas. As respostas do alumnado ao cuestionario de opinión deixaron

constancia da importancia que lle dan a veren o sentido práctico dos conceptos teóricos e de explorar metodoloxías nas que se sintan partícipes da súa propia aprendizaxe, é dicir, nas que se fomenta a participación activa na aula.

Por outra banda, débense ter en conta as limitacións deste estudo, xa que se realizou cunha poboación bastante reducida (un grupo de 7 estudantes). Aínda así, comprobouse que este tipo de actividades fomentan o interese pola aprendizaxe dos contidos da materia de Física e Química por parte dos estudantes, mellorando deste xeito a súa motivación intrínseca e, neste caso particular, a aprendizaxe dos contidos relacionados coas forzas de rozamento. En conclusión, este tipo de propostas educativas resultaron idóneas para mellorar e/ou conseguir actitudes positivas do alumnado cara ás disciplinas científicas neste caso de estudo.

5. REFERENCIAS

- Ametller, J., Caamaño, A. (coord.), Cañal, P., Couso, D., Gallástegui, J. R., Jiménez Aleixandre, M. P., ... Sanmartí, N. (2011). *Didáctica de la Física y la Química*. Barcelona: Editorial Graó.
- Benlloch, M. (comp.) (2002). *La educación en ciencias: ideas para mejorar su práctica*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A. e Mascheretti, P. (2007). How to teach friction: Experiments and models. *American Journal of Physics*, 75(12), 1106-1113. <https://doi.org/10.1119/1.2779881>.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A. e Mascheretti, P. (2010). A Three Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching Learning Sequences: The case of friction. *International Journal of Science Education*, 32(10), 1289-1313. <https://doi.org/10.1080/09500690903023350>.
- Cañal de León, P. e Perales Palacios, F. J. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alcoy: Editorial Marfil.
- Duschl, R. A. (1998). La valoración de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las ciencias*, 16(1), 3-20. Recuperado de: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/83199>.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Editorial Graó.
- Lozano Lucia, Ó. R. e Solbes Matarredona, J. (2014). *85 experimentos de física cotidiana*. Barcelona: Editorial Graó.
- National Research Council (NRC) (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academies Press.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. e Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European Commission. Community Research. Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf.
- Sanmartí Puig, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis educación.
- Van de Pol, J., Volman, M. e Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271-296. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6>.
- Wood, D., Bruner J. e Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>.

ANEXOS

Anexo I. Guión de laboratorio

Os veráns na zona na que vivides son bastante calorosos. Ó ser un lugar de interior non ten praia e, polo tanto, a túa familia decide que sería unha gran idea facer unha piscina na casa. Como prevedes que a construción vai ser cara consultades o proxecto con varios contratistas. Decidídesvos por un xa que vos encantan os planos e asegúravos que estará lista este verán.

Para que elixades o tipo de recubrimento dos bordos da piscina, o construtor dávos a mostra de 2 tipos de baldosas. A túa familia non sabe cal elixir porque ten medo a decantarse por unha superficie *moi esvaradía*. Teus pais pregúntanche a túa opinión e entón dáste conta de que este curso estás estudando os tipos de forzas que existen. Párase a pensar outro intre e recordas que existe unha forza chamada "*Forza de Rozamento*". Revisas os teus apuntamentos e comprobas que tal como pensabas *é a forza que se opón ao movemento e que aparece sempre que un corpo trata de moverse sobre unha superficie ou medio*. Segues dándolle á cabeza e chegas á conclusión de que esta forza é xustamente a responsable de non esvarar ao pisar as baldosas da piscina.

Entón decides que ti e os teus irmáns (compañeiros/as de aula) ides comprobar entre as 2 candidatas ofrecidas polo construtor cal é a baldosa máis axeitada para recubrir os bordos da piscina evitando caídas e deste xeito solucionar o problema proposto pola vosa familia (docente). O inconveniente é que **tedes que discorrer un deseño experimental capaz de demostrar cientificamente cal das 2 baldosas é a mellor**. Buscades pola casa materiais que vos poidan servir para montar o experimento e encontrades os seguintes:

- | | | |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| • Latas de refresco | • As 2 baldosas | • Unha mesa |
| • Fío | • Rodas pequenas | • Cachos de madeira |
| • Alcaiatas | • Sarxentos ou abrazadeiras | • Auga |
| • Utensilios de medida de volume de auga | • Balanza | • Papel e bolígrafo |
| • Calculadora | • Os teus apuntamentos | • As vosas cabezas |

Con todos estes materiais debes ser capaces de **resolver a cuestión proposta e así solucionar, de forma argumentada, o dilema de seguridade** que ten a vosa familia.

Anexo II. Memoria de laboratorio

Para que vos sexa máis fácil resolver a cuestión proposta podedes seguir o seguinte esquema:

- 1. Identificación do problema que se propón.** Cal é problema? Que pretendes descubrir?
 - 2. Elaboración de hipóteses.** Que tipo de chan crees que vai ser o mellor? Por que o crees? Recorda que para elaborar unha boa hipótese, esta debe ser un enunciado comprobable experimentalmente e que ofrezca unha explicación provisional aos problemas.
 - 3. Deseño experimental.** Como volas ides enxeñar para poder demostrar cientificamente, cos materiais atopados pola casa, cal é a baldosa máis adecuada para colocala ao lado da piscina e non esvarar facilmente? Describe detalladamente o proceso que ides seguir, así como os materiais que ides utilizar. Podedes axudarvos dun esquema gráfico.
- 3.0. Preguntas para axudar á construción do deseño experimental.**
- 3.1. De que depende a *Forza de Rozamento*?
 - 3.2. Cales son as condicións necesarias para que esvare o obxecto a estudar?
 - 3.3. Que debes determinar para poder demostrar cal é baldosa máis adecuada?
 - 3.4. Como podedes solucionar o problema de non poder utilizar os vosos pés para poder comprobar cal é a superficie máis esvaradía?
 - 3.5. Que precaucións debes ter en conta á hora de xerar a forza que vai mover o obxecto que escorregará sobre a baldosa?
 - 3.6. Como podedes ir incrementando a forza aplicada pouco a pouco para que esvare o obxecto empregado no deseño experimental?
 - 3.7. Como podedes axilizar o proceso experimental utilizando os utensilios de medida de volume de auga?
 - 3.8. Que magnitude relaciona a masa e o volume? Para que vos pode servir no voso experimento?
- 4. Análise dos resultados e interpretación dos resultados.** A que conclusións podedes chegar e por que?
- 4.1. Explica que datos obtivestes no laboratorio e como fixestes para obtelos. Ademais debes indicar a razón pola que son necesarios para solucionar a cuestión proposta.
 - 4.2. A que resultado chegastes? Debes explicarlle a túa familia (docente) coa axuda dos teus irmáns (compañeiros/as) cales son as vosas conclusións e cal é o tipo de baldosa que se debe elixir en base aos resultados experimentais.

MULLERES E STEM TECNOLÓXICO: ESTADO DA CUESTIÓN SOBRE A ELECCIÓN DE TRAXECTORIAS ACADÉMICO-PROFESIONAIS

NÚÑEZ DÍAZ, ROCÍO

*Máster en Profesorado de ESO e Bacharelato, FP e Idiomas
Universidade de Santiago de Compostela*

FERREIRO NÚÑEZ, XESÚS

*Prof. CIFP Politécnico de Lugo
Prof. Dpto. de Pedagogía e Didáctica
Universidade de Santiago de Compostela*

INTRODUCIÓN

No decurso histórico, as mulleres foron vítimas de todo tipo de discriminacións polo mero feito do seu sexo. Focalizando a atención no eido educativo, a incorporación da muller á educación formal foi un proceso longo e laborioso, que non se desenvolveu de xeito lineal, senón que se caracterizou por pequenos avances e fortes retrocesos. No referente aos estudos de carácter técnico e industrial, a presenza feminina foi inexistente durante décadas, e cando apareceron as pioneiras que optaron por cursar estudos relacionados con estes eidos, o seu traballo foi minimizado e os seus éxitos ignorados. A falta de recoñecemento foi total e, en moitas ocasións, foron os homes os que se beneficiaron dos logros que elas conseguiran.

Tomando esta reflexión como punto de partida, o que se buscou na investigación da que dá conta este artigo, e que formou parte dun Traballo de Fin de Máster da USC, foi coñecer a situación actual das mulleres en relación cos estudos de carácter técnico e industrial. Así mesmo, analizouse a persistencia de prexuízos e estereotipos de xénero, propios de épocas pasadas, tratando de verificar de que maneira inflúen na elección da carreira académica.

1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DO ROL ASIGNADO Á MULLER NA NORMATIVA EDUCATIVA. DA LEI MOYANO Á ETAPA DEMOCRÁTICA

A incorporación da muller á educación formal recóllese por primeira vez nunha norma o 9 de setembro de 1857, coa aprobación da Lei de Instrución Pública, tamén coñecida como Lei Moyano. Esta foi a primeira lei educativa en España e nela decretábase unha clara diferenciación das materias en función do sexo do alumnado. Pese ás melloras introducidas pola Lei Moyano, as discriminacións por razón de sexo no eido da educación seguíanse perpetuando, corroborándose así “a distinta misión que a sociedade encomendaba a uns e outras” (Delgado, 2009, p. 24).

No ano 1901 apróbase o Real Decreto do 26 de outubro, que ampliaba a escolaridade obrigatoria dos 9 aos 12 anos e establecía por primeira vez programas comúns para nenos e nenas na ensinanza

primaria. Seguindo esta tendencia, en 1910 prodúcese un avance que permite ás mulleres acceder á ensinanza superior en igualdade de condicións cós homes. Tamén no 1910, Emilia Pardo Bazán é nomeada por Alfonso XIII *Consejera de Instrucción Pública*, converténdose así na primeira muller en asumir este cargo.

A proclamación da II República, o 14 de abril de 1931, proxectou un modelo de escola pública, laica, única e gratuíta. A Constitución, aprobada en decembro dese mesmo ano, reafirmábase nese modelo educativo, e recoñecía a igualdade de sexos na educación e no ámbito laboral. Con todo, o forte arraigamento da división de roles na sociedade impediu a consecución real da igualdade. Xa que logo, na práctica a vida das mulleres non experimentou grandes cambios (Ballarín, 2001).

Co estalido da Guerra Civil española, as mulleres ocuparon postos reservados ata aquel momento aos homes, xa que estes abandonaran os seus traballos para tomar parte no conflito bélico. Finalmente, o bando nacional gañou a guerra, impoñéndose así o modelo de educación nacional-católico.

Durante a ditadura franquista a educación quedou baixo o control da Falanxe e da Igrexa. Isto representou un importante retroceso para a educación feminina, quedando a muller relegada ao seu rol dentro da esfera familiar na que debía cumprir coa súa misión de esposa e nai, sempre dende o respecto polos valores patrióticos, que ademais debía transmitir (Ballarín, 2001). Nesta etapa o ensino volveu ser segregado, diferente en función do sexo, e cun marcado carácter relixioso, patriótico e de formación para o fogar. A Sección Feminina da Falanxe, dirixida por Pilar Primo de Rivera, foi o elemento transmisor do rol secundario e submisivo que debían ocupar sempre as mulleres.

Respecto á Formación Profesional (FP de aquí en diante), en 1955 promulgábase a Lei de 20 de xullo, de FP Industrial. Esta norma recollía que a FP Industrial debía axustarse “ás normas do Dogma e da Moral católicos e aos principios fundamentais do Movemento Nacional” e que se aplicaría, sempre que fora posible, o principio de “ensinanzas separadas para os alumnos dun e outro sexo” (art. 4).

A Lei 56/1961, de 22 de xullo, sobre dereitos políticos, profesionais e de traballo da muller foi presentada nas Cortes pola Sección Feminina. Esta norma supuxo un cambio moi importante para a situación das mulleres no noso país, xa que lle recoñecía á muller “os mesmos dereitos que ao varón” para o exercicio de toda clase de actividade.

En 1970 apróbase a Lei Xeral de Educación (LXE de aquí en diante) que establecía unha educación que na teoría era igual para nenos e nenas, pero que na realidade consistía en facer extensivo ás rapazas o modelo de educación masculino tradicional (Alberdi e Alberdi, 1984). Pese a isto, a partir desta norma creáronse escolas mixtas e igualáronse os currículos de nenos e nenas, eliminando as materias domésticas do currículo.

Como consecuencia destas normativas, a presenza feminina nas diferentes etapas educativas aumentou de xeito significativo, coa excepción da FP, onde o seu número seguiu sendo reducido.

A aprobación da Constitución en decembro de 1978 representou un punto de inflexión na educación española, poñendo fin á escola única nacional católica, e suprimindo as barreiras que impedían o acceso das mulleres a certos estudos ou profesións.

Durante o período democrático as leis educativas vanse sucedendo e acompañándose doutras normas que consolidan o sistema educativo. A Lei Orgánica do Estatuto de Centros Escolares (LOECE) de 1980 democratizou os centros docentes e no curso 1984/1985 a escolarización mixta convértese en obrigatoria.

A Lei Orgánica Reguladora do Dereito á Educación (LODE, 1985) incidía no seu preámbulo na importancia da liberdade, da igualdade e do pluralismo no ensino.

Co paso dos anos, considerouse necesario modificar a lexislación educativa vixente para tratar de paliar as desigualdades que aínda existían por razón de sexo. Así se reflectía no *Libro Blanco para la Reforma del Sistema Educativo* publicado en 1989, no que tamén se recollía que un dos principais erros

do sistema educativo español era a escasa participación que as mulleres tiñan dentro del (Sánchez e Hernández, 2012).

Con este obxectivo, en 1990 apróbase a Lei Orgánica de Ordenación Xeral do Sistema Educativo (LOXSE de aquí en diante), que afirmaba no seu preámbulo que a educación podía e debía converterse “nun elemento decisivo para a superación dos estereotipos sociais asimilados á diferenciación por sexos”. A LOXSE partía da premisa de que existía discriminación por razón de sexo, e foi a partir desta lei cando se comezaron a introducir os coñecidos como *temas transversais*, entre os que aparecía a Educación para a Igualdade de Oportunidades de ambos os dous sexos.

A Lei Orgánica 2/2006, de 3 de maio, de Educación (LOE de aquí en diante), na que figuraba por primeira vez a necesidade de “formar no respecto dos dereitos e as liberdades fundamentais”, e de fomentar “a igualdade efectiva de dereitos e de oportunidades de homes e mulleres” recolle propostas das anteriores e avanza neste sentido. Así mesmo, establecía que o alumnado debía facer “unha valoración crítica das desigualdades” existentes (preámbulo). Creouse tamén coa LOE unha nova materia, Educación para a Cidadanía e os Dereitos Humanos, que buscaba “situar a preocupación pola educación para a cidadanía nun lugar moi destacado do conxunto das actividades educativas” (preámbulo) e que debía prestar especial atención a impulsar a igualdade efectiva entre homes e mulleres.

Finalmente, en 2013 promúlgase a Lei Orgánica para a Mellora da Calidade Educativa (LOMCE de aquí en diante), considerada en certo sentido unha volta ao pasado e que segue vixente. Coa súa implantación desaparece a materia de Educación para a Cidadanía, a Relixión recupera importancia e as administracións poden concertar financiación con centros que organicen o ensino segregando ao alumnado por sexo (art. 84.3).

2. ELECCIÓN DA MODALIDADE ACADÉMICA NA SECUNDARIA EN FUNCIÓN DO SEXO

Achegámonos con brevidade á posible influencia do xénero sobre a elección da carreira académica, partindo da propia elección da modalidade na etapa da educación secundaria. Primeiramente é preciso clarificar a diferenza entre sexo e xénero, cuestión que nos últimos anos foi obxecto dun gran debate científico e social desde diversos ámbitos e sectores sociais, pero con especial énfase desde determinadas posicións ideolóxicas.

Achegas científicas recentes, desde unha perspectiva multidisciplinar, sinalan que procede establecer unha diferenza entre xénero e sexo, xa que este último alude ao plano estritamente biolóxico, namentres que o xénero está relacionado cos conceptos de masculinidade e feminidade ou, se se quere, coas características que son aceptadas socialmente en función do sexo e da sociedade concreta (Giddens, 2014; Mosteiro e Porto, 2016).

2.1. Motivos que afectan a elección

Establecida unha aproximación á diferenza entre os citados termos, focalizamos agora o noso interese na elección da modalidade académica na secundaria, que posibilita a elección, á súa vez, da futura carreira académica, unha das escollas máis transcendentais de entre as moitas que se realizan ao longo da vida. Aínda que non tan determinante como o foi en épocas pretéritas, o futuro do estudantado depende en gran medida dela. Ademais, non cabe dúbida que estamos nunha sociedade que somete a tensións constantes aos traballadores/as e que solicita, por unha parte, unha especialización crecente e, pola outra, versatilidade nas diferentes ocupacións laborais. Optar por unha das moitas alternativas que se presentan non é tarefa fácil, especialmente se se ten en conta que, no momento da elección, unha parte importante do alumnado carece da madurez desexable para decantarse pola opción que máis lle convén.

A indagación en fontes bibliográficas permite afirmar que os motivos e as circunstancias que inflúen sobre as escollas da carreira académica son moitas e moi variadas, como se amosa na figura 1.

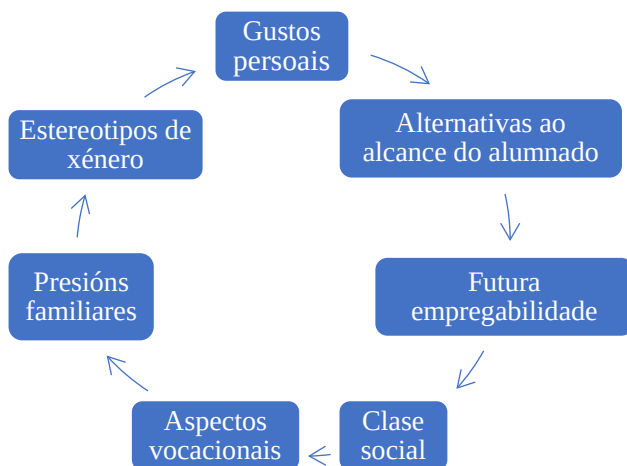


Figura 1. *Circunstancias que inflúen na escolla da carreira académica.*

A maioría dos traballos analizados coinciden en que, a pesar de que en moitos casos rapaces e rapazas teñen condicións similares no momento da elección, as decisións que toman son significativamente diferentes. É isto o que leva a valorar o xénero como un dos condicionantes principais na elección da carreira académica, cuestión que xa vén de hai décadas. Neste sentido, xa sinalaban Alberdi e Alberdi (1984) hai máis de trinta anos que “algunha explicación ten que haber para que un colectivo que obtén uns resultados académicos algo máis elevados que outro se incline, ao facer as súas opcións profesionais, por seguir estudos e profesións menos ambiciosos” (p. 9). Na actualidade, a situación semella a mesma. Así o sinalan Vázquez e Blanco (2019) “no proceso de toma de decisións académicas e profesionais ser varón ou muller parece seguir sendo un factor determinante” (p. 270).

Outro dos puntos comúns atopado nos traballos de investigación consultados é que a situación actual é o resultado da perpetuación dos estereotipos e os roles de xénero, nunha sociedade avanzada en normativa, pero con remudas sociais lentas. Así, o sociólogo Giddens, incide en que as diferenzas de xénero son producidas culturalmente, e por iso os diferentes axentes de socialización son quen de imbuír nas nenas e nenos normas e limitacións de expectativas atribuíndollas a un ou outro sexo en función dunha marcada socialización con asignación de roles (2014, p. 635). É aí onde se crean os estereotipos de xénero, que podemos definir como “crenzas ou pensamentos que as persoas temos acerca do que é propio de cada sexo” (Mosteiro, 1997, p. 311). Os estereotipos de xénero foron definidos máis tarde como “ideas socialmente establecidas de como deben ser, actuar e comportarse mulleres e homes” (Quesada e López, 2010, p. 46).

Na actualidade, os xa mencionados estereotipos seguen limitando a presenza das mulleres nos estudos técnicos e industriais. A este respecto, o *Libro Blanco de las Mujeres en el ámbito tecnológico*, publicado en marzo de 2019, alerta sobre a gravidade “que supón desperdiciar talento e recursos humanos especializados en base á perpetuación, máis ou menos inconsciente, de estereotipos de xénero” (Mateos e Gómez, 2019, p. 84).

Cabe salientar o papel fundamental da educación na difusión e consolidación destes estereotipos. O currículo oculto, as formas de proceder dos/das docentes, os materiais e recursos didácticos empregados e mesmo a disposición dos espazos dos centros educativos favorecen a subsistencia dos roles de xénero. O resultado é a escasa presenza feminina en determinadas titulacións e profesións, que pode considerarse consecuencia directa do tipo de educación recibida (Mosteiro, 1997; Del Amo, 2009).

Ademais dos estereotipos de xénero, existen outros factores, relacionados con eles, que explican a falta de interese das rapazas polas materias de carácter científico-técnico e industrial, como a falta de referentes femininos nestes ámbitos, os prexuízos sobre a valía das mulleres nestes sectores ou a continua identificación das ensinanzas técnicas e industriais co masculino (Nuño, 2000; Vázquez e Manassero, 2003).

Queda patente entón que, á hora de escoller entre uns estudos e outros, o alumnado está condicionado polos estereotipos de xénero, polo que a decisión que toman non é neutral, senón consecuencia duns condicionantes que dirixen ás mulleres aos estudos considerados femininos e aos homes a aqueles que se identifican co masculino. Deste xeito, limítase o acceso das rapazas aos estudos de carácter científico e tecnolóxico, co agravante de que estas disciplinas son as que gozan dun maior prestixio social (Nuño, 2000; Aguinaga, 2004).

O principal resultado da xa mencionada perpetuación dos roles e estereotipos de xénero é a polarización dos estudos en función do sexo que existe na actualidade, e que xa se detectaba na década dos 90. Esta situación agravouse ata o punto de que, ao igual que se facía hai máis de vinte anos, se segue a falar de estudos femininos, para aqueles orientados ás ocupacións de tipo asistencial como Enfermaría ou Traballo Social ou á ensinanza, como Maxisterio ou Pedagogía, e estudos masculinos (López, 1995).

Á vista do anterior, o xénero constitúe un factor decisivo na elección da carreira académica.

2.2. Matrícula feminina nas titulacións técnicas

Hai dez anos, Del Amo (2009) amosaba a súa preocupación pola pouca presenza feminina nos estudos de carácter técnico ou industrial, sinalando a perpetuación dos estereotipos de xénero no momento da escolla da carreira académica como causa principal. Na década seguinte a situación segue sendo moi similar, e, aínda cando se produciron certos avances, rapaces e rapazas seguen rexeitando opcións académicas e profesionais “contrarios aos roles e aos estereotipos de xénero” (Sáinz *et al.*, 2017, p. 41).

Táboa 1. Alumnado matriculado por tipo de universidade, sexo e ámbito da ensinanza. Curso 2016-2017.

	Total		Universidades públicas		Universidades privadas	
	Homes	Mulleres	Homes	Mulleres	Homes	Mulleres
Total	590.812	712.440	508.439	608.024	82.373	104.416
Ciencias Sociais e Xurídicas	244.402	361.385	201.638	302.499	42.764	58.886
Enxeñaría e Arquitectura	182.900	61.495	168.504	57.164	14.396	4.331
Artes e Humanidades	50.482	80.354	46.600	75.316	3.882	5.038
Ciencias da Saúde	73.550	167.992	53.281	133.284	20.269	34.708
Ciencias	39.478	41.214	38.416	39.761	1.062	1.453

Fonte: Elaboración propia a partir de *Anuario Estadístico de España 2019*.

Presenza feminina nas enxeñarías

A presenza feminina no conxunto dos estudos universitarios acadou ao longo das últimas décadas datos moi positivos, chegando a ser maior a porcentaxe de mulleres matriculadas que a de homes. En efecto, de acordo cos datos achegados polo Ministerio de Ciencia, Innovación e Universidades, no curso académico 2017/2018 o 54,8% das estudantes matriculadas nas universidades españolas eran

mulleres. Pola contra, este cambio non se viu reflectido no ámbito das enxeñaría, tal como se amosa ao longo deste apartado.

Ao examinarmos datos do Anuario Estatístico de España de 2019 do INE, podemos afirmar que a presenza feminina nestes estudos é notablemente inferior á masculina. No caso de Enxeñaría e Arquitectura, o número de homes matriculados nos graos supón case o triplo do número de mulleres (táboa 1).

O mesmo ocorre se se examina a matrícula dos másters. Así se mostra na seguinte táboa (táboa 2).

Con estes datos como referencia podemos afirmar que na universidade existe unha marcada diferenciación da matrícula por razón de sexo, xa que a maior parte das mulleres cursa estudos do ámbito da saúde e da educación; namentres que a súa presenza nas enxeñaría e na informática é escasa.

Táboa 2. Alumnado de máster por tipo de universidade, sexo e ámbito da ensinanza. Curso 2016-2017.

	Total		Universidades públicas		Universidades privadas	
	Homes	Mulleres	Homes	Mulleres	Homes	Mulleres
Total	86.782	103.361	58.159	66.733	28.623	36.628
Ciencias Sociais e Xurídicas	45.801	65.104	24.891	36.948	20.910	28.156
Enxeñaría e Arquitectura	24.873	9.865	20.507	8.220	4.366	1.645
Artes e Humanidades	6.206	9.810	5.083	8.361	1.123	1.449
Ciencias da Saúde	5.721	14.476	3.692	9.231	2.029	5.245
Ciencias	4.181	4.106	3.986	3.973	195	133

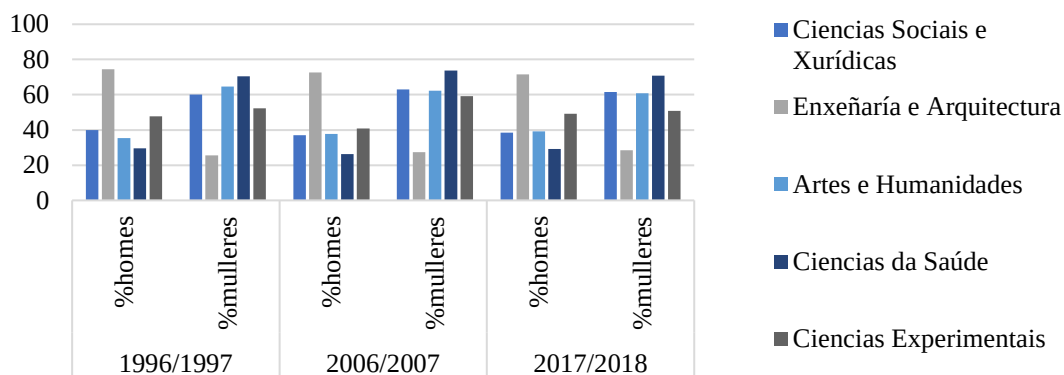
Fonte: Elaboración propia a partir de *Anuario Estadístico de España 2019*.

Táboa 3. Evolución da porcentaxe de alumnado universitario por sexo e área.

	1996/ 1997		2006/ 2007		2017/ 2018	
	% homes	% mulleres	% homes	% mulleres	% homes	% mulleres
Ciencias Sociais e Xurídicas	39,9	60,1	37,0	63,0	38,4	61,6
Enxeñaría e Arquitectura	74,5	25,5	72,7	27,3	71,6	28,4
Artes e Humanidades	35,3	64,7	37,7	62,2	39,1	60,9
Ciencias da Saúde	29,6	70,4	26,3	73,7	29,1	70,9
Ciencias Experimentais	47,7	52,3	40,8	59,2	49,2	50,8

Fonte: Elaboración propia a partir do Ministerio de Educación e FP.

Tomando datos de matrícula dos cursos académicos 1996/1997, 2006/2007 e 2017/2018 e establecendo unha comparación entre eles, estamos en condicións de manifestar que, malia aos cambios introducidos, a variación das porcentaxes entre o curso académico 1996/1997 e o 2017/2018 é moi pouco relevante. Así, o aumento da matrícula feminina nas áreas máis técnicas durante os últimos vinte anos é inferior ao 3%. Deste xeito, a porcentaxe de mulleres matriculadas nas enxeñarías non chega a acadar o 30%, namentres que a súa representación nas Ciencias Sociais e Xurídicas, nas Artes e Humanidades e nas Ciencias da Saúde supera o 60% do alumnado total (táboa 3 e figura 2).



Fonte: Elaboración propia a partir do Ministerio de Educación e FP.

Figura 2. Evolución da porcentaxe de alumnado universitario por sexo e área.

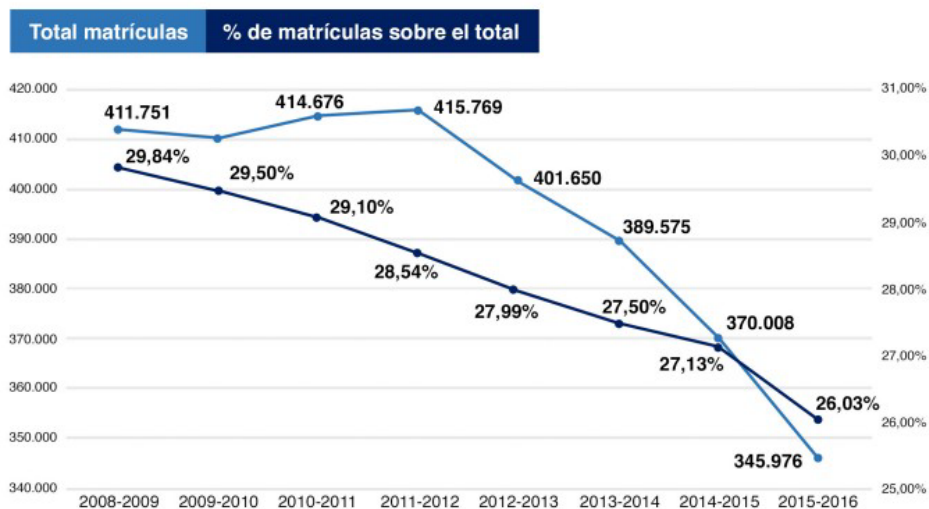
Os datos amosados neste apartado poñen de manifesto que as estatísticas sobre elección de estudos técnicos e industriais por razón de sexo apenas variaron nos últimos vinte anos, a pesar dos avances conseguidos en materia de educación e da grande evolución dos contornos formativos e profesionais. A igualdade real de elección académica non está conquistada e na actualidade seguen existindo profesións maioritariamente masculinizadas, onde a presenza feminina é meramente testemuñal, ten tendencia a diminuír co paso do tempo e está condicionada pola existencia de convencionismos propios de décadas pasadas (Rial e Mariño, 2011; Iglesias e Sánchez, 2017). As investigacións máis recentes deixan constancia de que a *fenda de xénero*, entendida como “as diferentes posicións de homes e mulleres e a desigualdade de distribución de recursos, acceso e poder nun dado contexto” (Menacho, 2005) segue sendo moi acusada nos estudos técnicos e do longo camiño que queda por percorrer.

3. MULLERES E STEM TECNOLÓXICO

O termo STEM responde ás iniciais en inglés das disciplinas relacionadas coas Ciencias, a Tecnoloxía, a Enxeñaría e as Matemáticas. Este acrónimo foi creado pola Fundación Nacional para a Ciencia na década dos noventa (Sanders, 2008). Cabe mencionar que as disciplinas STEM poden dividirse en *tecnolóxicas*, as enxeñarías e arquitectura principalmente, e *non tecnolóxicas*, as do ámbito das ciencias puras, sociais e da saúde (Sáinz *et al.*, 2017). A educación STEM, na súa vertente tecnolóxica, na que nos imos centrar, converteuse nunha prioridade nos últimos anos por diversos motivos, sendo un dos máis relevantes a crise de vocacións científicas que queda reflectida no forte descenso da matrícula nos estudos universitarios de ciencia e tecnoloxía. A diminución do alumnado nestas titulacións, no conxunto do Estado, pode apreciarse na figura 3.

A falta de interese polas carreiras vinculadas coas disciplinas STEM tecnolóxicas resulta aínda máis preocupante se temos en conta que, por normal xeral, as carreiras relacionadas cos citados dominios serán das máis solicitadas no futuro, xa que estes coñecementos son cruciais para o desenvolvemento dos avances científicos e técnicos, a innovación e mesmo para a consecución dun desenvolvemento

sostible, aspecto no que se vén incidindo nos últimos anos (Burke e Mattis, 2007; Griffith, 2010; UNESCO, 2019).



Fonte: Tomado de *Educación en STEM, un reto para el futuro de Madrid*, 2018 (p. 4).

Figura 3. Evolución do estudantado universitario nas disciplinas STEM en España.

Centrándonos na participación feminina dentro das disciplinas STEM, en particular nas tecnolóxicas, dende a incorporación da muller á educación formal e ata a actualidade, existiu unha importante fenda de xénero en todos os niveis dos estudos científico-técnicos, especialmente naqueles países con sistemas fortes de ciencia e tecnoloxía (Torres e Pau, 2011; Díaz, 2016). En España, no ano 2016, a taxa de graduados homes en ciencias, matemáticas, informática, enxeñaría, industria e construción por 1000 habitantes con idades comprendidas entre 20-29 anos era de 30,1‰ e a de mulleres de 13,0‰. A fenda de xénero nas titulacións técnicas é tan significativa que semella imposible que se poida revertir nun futuro inmediato, a teor da experiencia das últimas décadas (Flores, 2016).

Resulta tamén imprescindible facer referencia a que esta forte influencia dos estereotipos de xénero se manifesta xa na educación primaria, acentuándose nos primeiros cursos da educación secundaria, algo especialmente preocupante, xa que é nese momento cando o alumnado comeza a tomar decisións que orientan a súa posterior carreira académica e profesional. Neste feito podería residir a explicación á baixa presenza feminina nos estudos científico-técnicos (Bodgan e Meneses, 2019).

Conseguir que a distribución da matrícula nas áreas STEM tecnolóxicas se iguale en función do sexo é algo fundamental, non só para as mulleres, que ven reducidas as súas oportunidades, senón tamén para o conxunto da sociedade, á que lle afecta gravemente pola pouca explotación do potencial feminino e a falta de diversidade nestes sectores (Díaz, 2016; Calvo, 2019). Neste senso, cómpre resaltar que unha maior diversidade de perfís profesionais no ámbito científico-tecnolóxico contribuíría a unha mellora dos resultados obtidos, da creatividade e da innovación e tamén a acadar a excelencia científica (Burke e Mattis, 2007; UNESCO, 2019). Polo tanto, é primordial apoderar ás nenas e ás adolescentes de xeito que, se así o desexan, opten por cursar estudos vinculados coas STEM (UNESCO, 2019), particularmente na súa vertente tecnolóxica.

Coñecer o porqué da escaseza de vocacións técnicas femininas permite deseñar estratexias que consigan contrarrestala. O fin destas iniciativas é atraer, reter e promover ás mulleres nas profesións STEM tecnolóxicas e garantir unha participación “máis igualitaria e real”, que vaia máis alá “duns simples formalismos” (Fernández, 2009, p. 82; Sáinz *et al.*, 2017, p. 109).

Xa no ano 2010, a Estratexia Europa 2020 da Comisión Europea fixaba entre os seus obxectivos en materia de educación “contar cun número suficiente de licenciados en ciencias, matemáticas e enxeñaría” (p. 15). Pola súa parte, a UNESCO aborda a problemática da pouca presenza feminina nas disciplinas STEM tecnolóxicas dentro da Axenda de Educación 2030, na que se afirma que a falta de representación feminina nestas disciplinas está profundamente arraigada. Doutra banda, na publicación salientábase que non só a presenza feminina é reducida nos estudos vinculados coas STEM tecnolóxicas, senón que tamén hai unha alta taxa de deserción neles, tanto na etapa universitaria como durante a traxectoria profesional (UNESCO, 2019).

Porén, é importante sinalar que conseguir un aumento na matrícula feminina nestas carreiras universitarias non é suficiente para asegurar a posterior igualdade de homes e mulleres no ámbito laboral. Por este motivo, é fundamental coñecer as barreiras e os obstáculos de diversa índole aos que as mulleres deben facer fronte durante as súas traxectorias profesionais e que impiden a súa incorporación, participación e promoción nas carreiras STEM (Mariño, 2009; Díaz, 2016; Flores, 2016). Estas barreiras serán obxecto de análise no punto 3.2 deste artigo.

3.1. A situación en Galicia

Focalizando a nosa atención na Comunidade Autónoma de Galicia, e segundo os datos da Axencia para a Modernización Tecnolóxica de Galicia (AMTEGA de aquí en diante), aínda que arredor dun 50% do alumnado galego matriculado en Bacharelato cursa a disciplina de ciencia e tecnoloxía, a maioría non chega a matricularse nunha carreira STEM tecnolóxica. Respecto á presenza universitaria feminina nestes ámbitos, no ano 2017 só representaba un 28,1% da matrícula tecnolóxica. Estes datos suxiren que o índice de titulados e tituladas non cubrirá a demanda de profesionais nun futuro nestes sectores.

Tal e como recolle a táboa 4, das rapazas que cursaron Bacharelato no curso académico 2015/2016, un 43,2% optou pola modalidade Ciencias e Tecnoloxía fronte o 58,1% dos homes que escolleron esta opción. A este respecto é preciso sinalar que, dentro desa porcentaxe de mulleres que estudan un Bacharelato científico-tecnolóxico tamén se atopan aquelas que están interesadas en cursar posteriormente estudos do ámbito das Ciencias da Saúde, incluído nas STEM non tecnolóxicas.

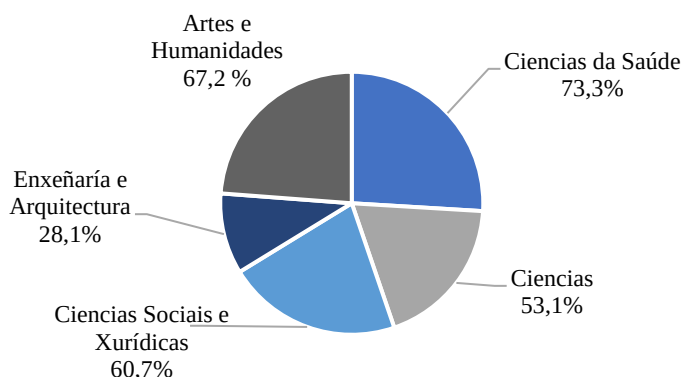
Táboa 4. Alumnado de Bacharelato ordinario segundo modalidade e sexo. Curso 2015/16.

	TOTAL	HOMES	MULLERES
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%
Artes	5,0%	3,3%	6,5%
Ciencia e tecnoloxía	50,2%	58,1%	43,2%
Humanidades	44,8%	38,6%	50,3%

Fonte: Elaboración propia a partir de As cifras da educación en Galicia. Estadísticas e indicadores. Curso 2015/2016.

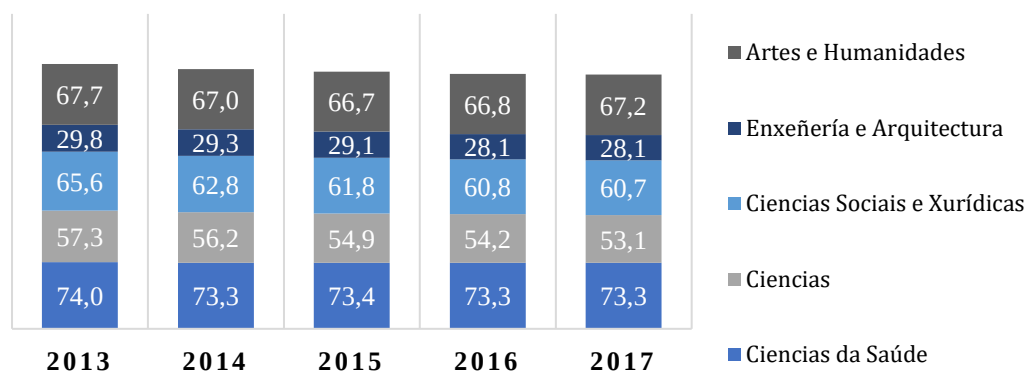
En concordancia con isto, as mulleres optan maioritariamente por estudos universitarios do ámbito das Ciencias Sociais e Xurídicas e das Ciencias da Saúde (figura 4), namentres que os rapaces se decantan principalmente polas Enxeñarías e a Arquitectura, producíndose así unha nova fenda dentro dos propios estudos STEM. Estes datos corroboran que é nos estudos de carácter técnico, onde se produce unha maior diferenza de matrícula por razón de sexo, en prexuízo das mulleres.

Cómpre insistir en que, aínda que en Galicia se viña dunha tendencia positiva en canto á matrícula universitaria feminina nas disciplinas STEM tecnolóxicas, nos últimos anos produciuse un aumento da fenda de xénero, ao reducirse o número de mulleres que cursan estes estudos (figura 5). Este descenso enmárcase dentro dunha diminución global do número de alumnas universitarias, pero no caso que nos atinxe a situación faise máis preocupante xa que a porcentaxe de matrícula sempre se mantivo en datos moi baixos.



Fonte: Elaboración propia a partir dos datos do IGE.

Figura 4. Mulleres matriculadas dentro de cada especialidade nas universidades galegas segundo a área. Ano 2017.



Fonte: Elaboración propia a partir dos datos do IGE.

Figura 5. Evolución da porcentaxe de mulleres matriculadas sobre o número total de alumnado nas universidades galegas segundo a área.

Algúns iniciativas para fomentar a presenza feminina nos estudos STEM tecnolóxicos

A Xunta de Galicia creou, a través do Decreto 33/2007, a Unidade de Muller e Ciencia, co fin de traballar pola igualdade efectiva de trato e recoñecemento das mulleres e homes na carreira investigadora, científica e tecnolóxica. Tal e como se indica no *II Programa Galego de Muller e Ciencia*, trátase dunha área de traballo interdepartamental para “dinamizar e transformar o sistema de ciencia e tecnoloxía galego, a través da integración da perspectiva de xénero como estratexia de avance nun modelo de sociedade máis xusta e acorde coas necesidades da poboación”.

Doutra banda, e co fin de paliar a falta de interese do alumnado polas carreiras STEM, feito que se agrava especialmente no caso das mulleres, a Asociación Galega de Empresas de Software Libre (AGASOL) e a Xunta de Galicia, a través da AMTEGA, puxeron en funcionamento en 2018 o programa “*GIRL STEM: derrubando estereotipos*”, que se desenvolve nas sete grandes cidades galegas. Este programa busca que, a través de diferentes sesións de traballo, mulleres referentes de recoñecido

prestixio nestes ámbitos acheguen a súa experiencia ás nenas, resolvendo todas as súas dúbidas sobre as disciplinas STEM e axudando así a derrubar os estereotipos de xénero imperantes na sociedade que condicionan a elección de estudos.

Así mesmo, durante o curso académico 2018/2019, implantouse de xeito experimental en quince centros galegos o Bacharelato de excelencia en ciencias e tecnoloxía, tamén nomeado STEMbach, que se enmarca na estratexia Edudixital 2020 da Xunta de Galicia. Tal e como recolle a Resolución do 12 de xullo de 2018 que o regula, o seu obxectivo é promover as vocacións científico-tecnolóxicas entre o alumnado, en conexión coa universidade e tendo en conta a perspectiva de xénero.

Dentro do paquete de actuacións da estratexia Edudixital 2020, e tamén co propósito de fomentar as competencias STEM entre o alumnado, dez centros escolares galegos incorporaron durante o curso académico 2018/2019 “Espazos Maker”, zonas específicas dentro dos establecementos educativos, dotadas cos medios tecnolóxicos necesarios para que o alumnado poida materializar a súa creatividade a través de proxectos propios de experimentación, isto é, “aprender facendo” (p. 2).

Por outra parte, un exemplo de iniciativas que se levan a cabo desde diversos ámbitos e niveis educativos achámolo na Escola Politécnica Superior de Enxeñaría da USC do Campus Terra de Lugo, en colaboración co Concello de Lugo e coa Casa da Muller Municipal que presentou durante as celebracións polo Día Internacional das Mulleres e Nenas na Ciencia¹ do curso académico 2018/2019 a iniciativa “*Protagonistas, as enxeñeiras: Muller e Enxeñaría para alumnado da ESO*” (figura 6). A súa finalidade é favorecer o achegamento das rapazas que están a cursar estudos de ensino medio e Bacharelato nos distintos centros educativos de Lugo ás titulacións universitarias de perfil científico-técnico. Este proxecto está estruturado en sesións monográficas a cargo de persoal docente e investigador e de alumnas egresadas. O que se busca é que as estudantes teñan referentes femininos para visualizarse como profesionais técnicas se así o desexan.



Fonte: Tomado do Xornal da USC.

Figura 6. Cartel da iniciativa “*Protagonistas, as enxeñeiras. Muller e Enxeñaría para alumnado de ESO*”.

3.2. Barreiras que condicionan a progresión das mulleres no STEM tecnolóxico

As mulleres que deciden estudar e desenvolver a súa carreira profesional en disciplinas relacionadas coas titulacións técnicas e industriais, onde a maioría de profesionais son homes, deben facer fronte a numerosas barreiras que afectan a súa progresión. En palabras de Fernández (2009) “ser muller nuns

¹ A ONU proclamou o 11 de febreiro de 2015 como o Día Internacional das Mulleres e as Nenas na Ciencia en recoñecemento ao papel clave que o xénero feminino desempeña na comunidade científica e a tecnoloxía e co fin de acadar o acceso e a participación plena e equitativa na ciencia para as mulleres e as nenas, o seu apoderamento e de avanzar na igualdade de xénero.

contornos onde maioritariamente estudan, ensinan e traballan homes xa é de por si unha dificultade” (p. 264).

A este respecto, e para loitar contra os obstáculos que impiden a igualdade efectiva das mulleres, promulgouse en España a Lei Orgánica 3/2007, do 22 de marzo, para a igualdade efectiva entre mulleres e homes. Esta norma define no seu artigo 6 dous tipos de discriminación: a discriminación directa por razón de sexo cando unha persoa é tratada, en atención ao seu sexo, de xeito menos favorable ca outra en situación comparable; e a discriminación indirecta por razón de sexo cando se produce unha situación na que unha disposición, criterio ou práctica aparentemente neutros pon a persoas dun sexo en desvantaxe particular con respecto a persoas do outro.

Porén, e a pesar dos avances dos últimos anos e de que as discriminacións por razón de sexo están penadas segundo a xa mencionada lei, seguen persistindo.

Na actualidade as desigualdades e as discriminacións continúan poñendo de manifesto que homes e mulleres non compiten nun mesmo mercado de traballo, senón que se enfrontan a exixencias diferentes, tanto no que se refire á demanda como á oferta. (Mariño e Rial, 2019)

Como consecuencia, prodúcese unha *segregación ocupacional*, tanto de xeito horizontal como de xeito vertical (Mariño, 2009):

- A *segregación horizontal*, ou segregación sectorial, provoca que as mulleres se insiran, de xeito maioritario, naqueles sectores profesionais nos que a presenza feminina é maioritaria e os homes o fagan nos máis masculinizados.
- A *segregación vertical* prodúcese cando os homes ocupan os postos de toma de decisións e de maior responsabilidade dentro das institucións, deixando ás mulleres relegadas aos postos máis baixos e que requiren unha menor cualificación.

O resultado desta dobre segregación é a concentración das profesionais femininas en postos que se caracterizan pola súa falta de estabilidade, de recoñecemento e con remuneracións notablemente inferiores (Blasco, 2013).

Dentro da discriminación vertical enmárcase o coñecido como “teito de cristal” (*glass ceiling*), termo que alude a un obstáculo invisible que impide o ascenso das mulleres aos postos de rango superior. Este fenómeno, que explica a pouca participación feminina dentro da cúspide das xerarquías, é a consecuencia dos roles sociais preestablecidos que deben cumprir as mulleres, así como de mecanismos discriminatorios establecidos por determinadas organizacións (Blasco, 2013; Carrancio, 2015).

A pesar de que esta problemática non é nova, algo que queda patente xa que hai máis dunha década desde a Organización Internacional do Traballo (OIT de aquí en diante) (2004) afirmábase que “a regra empírica é: canta máis alta é a xerarquía institucional, menos mulleres hai” (p. 15), o teito de cristal segue moi presente na sociedade actual e a falta de representación feminina en postos de liderado é unha constante nas disciplinas STEM (Díaz, 2016).

Outra das metáforas empregadas para nomear as barreiras que impiden o desenvolvemento profesional das mulleres, é a “pared de cristal” (*glass wall*), que serve de soporte para o xa mencionado teito de cristal e que fai referencia ás accións que se inclúen dentro da discriminación indirecta e que condicionan o acceso aos postos de responsabilidade e toma de decisións nas empresas (Mariño, 2009).

O “chan pegañento” (*sticky floor*), que tamén se inclúe dentro da segregación vertical, é outro dos fenómenos que limitan a participación en igualdade das mulleres na esfera laboral. Para Mariño (2009) este termo refírese:

As obrigacións, responsabilidades e cargas afectivas e emocionais que no ámbito doméstico acaban recaendo sobre as mulleres, atrapándoas mediante lazos afectivos dos que se senten

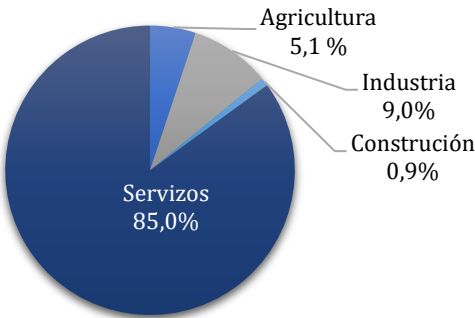
abandonados pola súa saída cara outra esfera diferente á doméstica, e que dificultan ou impiden a súa realización persoal lonxe do ámbito familiar (p. 190).

A diferenza dos anteriores, o *chan pegañento* fai referencia ás dificultades das mulleres para acceder á carreira académica (Torres e Pau, 2011).

As discriminacións no ámbito laboral son unha realidade tan arraigada á que estamos tan afeitos que moitos non son sequer capaces de distinguilas. A gravidade é tal que se chegan a aceptar como normais comportamentos e accións claramente discriminatorios cara ás mulleres, como é o caso da diferenza de salario (Blasco, 2013).

3.2.1. *A segregación ocupacional en Galicia*

A segregación ocupacional por razón de sexo está moi presente na nosa comunidade. A figura 7 mostra como o 85,0% das mulleres galegas se emprega no sector servizos, namentres que só un 9,0% o fai no sector industrial e un 5,1% no sector primario. No caso dos homes, o sector principal de ocupación é o sector servizos cun 59,5%, seguido do industrial que emprega a un 21,8%.



Fonte: Elaboración propia a partir dos datos do INE. Enquisa Poboación activa. Ano 2018.

Figura 7. *Mulleres ocupadas por sector económico en Galicia. Ano 2018.*

No eido da educación, e malia que a maior parte das persoas tituladas universitarias son mulleres, tal e como se recolle na táboa 5, a porcentaxe de docentes universitarias femininas é significativamente menor cá de homes. Neste senso, a distribución do profesorado en función do sexo é unha mostra clara da segregación vertical presente nas universidades galegas. A táboa 6 mostra como só no caso das profesoras axudantes e das profesoras axudantes doutoras existe paridade entre homes e mulleres. É especialmente significativo o reparto de cátedras, xa que nesta categoría só o 22,8% son mulleres fronte ao 77,2% de homes.

Táboa 5. *Evolución do estudantado titulado nas universidades galegas por sexo.*

ANO	% MULLERES	% HOMES
2013	61,6	38,4
2014	61,6	38,4
2015	60,0	40,0
2016	60,0	40,0
2017	60,0	40,0

Fonte: Elaboración propia a partir dos datos do IGE.

Táboa 6. *Profesorado de ensinanza universitaria por categoría e sexo. Ano 2017.*

	TOTAL	MULLERES	% MULLERES
Cátedras	650	148	22,8
Cátedra de Universidade	586	125	21,3
Cátedra de Escola Universitaria	64	23	35,9
Profesorado titular	2092	868	41,5
Titulares de Universidade	1847	781	42,3
Titulares de Escola Universitaria	245	87	35,5
Profesorado asociado	827	287	34,7
Profesorado asociado	570	191	33,5
Profesorado asociado Ciencias da Saúde	257	96	37,4
Profesorado axudante	135	67	49,6
Profesorado axudante	3	1	33,3
Profesorado axudante doutorado	132	66	50,0

Fonte: Elaboración propia a partir dos datos do IGE.

3.2.1. A fenda salarial de xénero en Galicia

A fenda salarial de xénero (*gender pay gap*) fai referencia á “diferenza de remuneración entre mulleres e homes” (OIT, 2016, p. 51). Os datos recollidos na táboa 7 dan conta da importante fenda salarial de xénero existente na nosa comunidade. Esta información demostra que, a medida que a retribución aumenta de contía, diminúe o número de mulleres que a perciben, o que permite dúas interpretacións: ou ben as mulleres acceden en moita menor medida aos postos máis altos da xerarquía nos que se perciben os salarios máis altos, ou ben, aínda accedendo á cúspide, reciben unha remuneración inferior aos seus homólogos masculinos.

Segundo a OIT (2016) hai fenda salarial de xénero “en cada grupo de ocupacións” (p. 53).

Os datos achegados veñen corroborar a necesidade de acadar unha presenza igualitaria de homes e mulleres en todos os ámbitos da sociedade, especialmente no ámbito tecnolóxico. Segundo se recolle no VII Plan Estratéxico de Galicia para a igualdade de oportunidades entre homes e mulleres:

Se as mulleres representan algo máis da metade da poboación, unha organización que non as teña en conta, no seu consello de administración ou xunta directiva, non incorporará na súa filosofía a perspectiva das mulleres e non representará, polo tanto, á sociedade no seu conxunto (p. 108).

Para facer fronte a todas estas discriminacións, en Galicia promulgouse o Decreto Lexislativo 2/2015 do 12 de febreiro, que aproba o texto refundido das disposicións legais da Comunidade Autónoma de Galicia en materia de igualdade. O obxectivo desta norma é “a eliminación da discriminación entre mulleres e homes e a promoción da igualdade” (art. 1).

Táboa 7. *Persoas asalariadas por sexo e decil salarial. Galicia. Ano 2017.*

	TOTAL	HOMES	MULLERES
TOTAL	100,00	100,00	100,00
Menos de 720,41€	10	4,02	16,18
De 720,41€ a 1049,37€	10	6,03	14,17
De 1049,37€ a 1236,63€	10	6,88	13,22
De 1236,63€ a 1403,47€	10	10,72	9,22
De 1403,47€ a 1572,93€	10	12,84	7,03
De 1572,93€ a 1778,52€	10	12,81	7,03
De 1778,52€ a 2113,91€	10	11,65	8,30
De 2113,91€ a 2579,68€	10	11,72	8,25
De 2579,68€ a 3320,83€	10	10,65	9,30
3320,83 ou máis euros	10	12,67	7,26

Fonte: Elaboración propia a partir do IGE. Enquisa de poboación activa. Decil de salarios do emprego principal.

4. CONCLUSIÓNS

A investigación realizada, así como o posterior tratamento dos datos e as cifras aportadas neste traballo permiten extraer algunhas conclusións:

- A matrícula feminina nos estudos universitarios de carácter técnico mantense en valores similares aos de hai vinte anos, un 25,5% no curso académico 1996/1997 fronte a un 28,4% no 2017/2018.
- O xénero foi tradicionalmente un factor decisivo á hora de escoller a carreira académica. Así, a persistencia dos estereotipos de xénero fai que as alumnas sigan cursando estudos nos que a presenza das mulleres é superior.
- A educación xoga un rol importante na perpetuación dos estereotipos de xénero.
- As discriminacións por razón de sexo son unha realidade que se manifesta de diferentes formas, como na escaseza de mulleres en postos de liderado ou na importante fenda salarial de xénero. Así, o 43,57% das mulleres galegas recibe un soldo inferior aos 1236,63€ mensuais fronte ao 16,93% dos homes que percibe unha remuneración menor a esa contía.
- Atraer o talento feminino é fundamental de cara ao desenvolvemento social futuro, polo que se fai imperativo promover un cambio que poña fin á división sexual do traballo, e que axude a normalizar a presenza das mulleres en todos os dominios.

Á vista dos datos manexados, o principal reto de cara ao futuro é incentivar a participación das estudantes nos estudos de carácter científico e técnico. Para conseguilo, é preciso traballar de forma conxunta e coordinar os esforzos, de xeito que se poidan acadar mellores resultados. Favorecer unha maior presenza das mulleres nestes sectores implica actuar en moitos ámbitos da nosa sociedade. No eido da educación é preciso:

- Facer unha profunda revisión dos materiais e os recursos didácticos empregados nas aulas.

- Loitar contra a infrarrepresentación dos fitos científicos e técnicos das mulleres nos libros de texto, así como contra a transmisión dos estereotipos de xénero que se produce a través do currículo oculto. Facer visibles os éxitos das científicas ao longo da historia contribúe a promover vocacións científicas, xa que as rapazas poden velas como referentes nos que inspirarse.
- Formar ao profesorado nesta problemática para eliminar a diferenza de trato que, de forma consciente ou inconsciente, aínda se produce nos centros. Neste senso, cómpre prestar atención ao uso da linguaxe, xa que o emprego de determinados termos pode converterse en elemento transmisor dos estereotipos de xénero.
- Favorecer que as estudantes entren en contacto con mulleres egresadas destas titulacións a fin de que lles falen das súas experiencias, traxectorias e motivacións.
- Reorganizar os procesos de orientación académica de xeito que tomen en conta a cuestión do xénero e desenvolvan actuacións en consecuencia. Ademais, é imprescindible cambiar a forma de presentar as titulacións ao estudantado para que resulten máis atractivas.
- Comezar a desenvolver iniciativas tamén na educación primaria para potenciar así a implicación das rapazas nas disciplinas científico-técnicas dende as idades máis temperás.

Porén, para que estas modificacións na educación sexan efectivas, teñen que vir acompañadas dunha serie de accións dende as institucións políticas que garantan que a participación de homes e mulleres nestes ámbitos se produce en condicións de igualdade real. Isto supón acabar coa fenda salarial, coa segregación ocupacional por razón de xénero e con todas as outras discriminacións existentes na sociedade actual que condicionan o desenvolvemento das traxectorias formativas e profesionais das mulleres.

As accións puntuais coma os obradoiros, os coloquios ou as conferencias son necesarias e representan un bo punto de partida, pero non son suficientes para facer fronte á gravidade desta problemática. Por iso, faise preciso un cambio integral e transversal que incorpore a perspectiva de xénero a toda acción no sistema educativo e produtivo.

5. REFERENCIAS

- A EPS de Enxeñaría achega as titulacións STEM ás estudantes de ensino medio a través da campaña “Protagonistas, as enxeñeiras”. (11 de febrero de 2019). *Xornal da USC*. Recuperado o 16 de xuño de 2019 de <https://i.gal/7ZERZ>
- Aguinaga Roustán, J. (2004). Las desigualdades de género entre los jóvenes. *Informe Juventud en España 2004*, pp. 3-67. Madrid: INJUVE.
- Alberdi Alonso, I. e Alberdi, I. (1984). Mujer y educación: un largo camino hacia la igualdad de oportunidades. *Revista de educación*, (275), 5-18. Recuperado de <https://i.gal/EzmNx>
- Asociación de empresas galegas de software libre, AGASOL. (2018). *AGASOL e AMTEGA levarán a mulleres líderes en Ciencia e Tecnoloxía a institutos galegos para inspirar ás rapazas nas profesións STEM*. Recuperado o 01 de marzo de 2020 de <https://i.gal/EOyKU>
- Axencia para a Modernización Tecnolóxica, AMTEGA. (2017). *As 12 empresas do Pacto Dixital de Galicia súmanse ao plan da Xunta para impulsar o talento tecnolóxico na Comunidade*. Recuperado o 01 de marzo de 2020 de <https://i.gal/cAByF>
- Ballarín Domingo, P. (2001). *La educación de las mujeres en la España contemporánea (siglos XIX y XX)*. Madrid: Síntesis.

- Blasco Chamizo, A. (2013). *Análisis de la perspectiva de género en los perfiles de la ingeniería TIC* (proyecto final de carrera). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Recuperado de <https://i.gal/9pGA1>
- Bodgan Toma, R. e Meneses Villagrà, J. Á. (2019). Preferencia por contenidos científicos de física o de biología en Educación Primaria: un análisis clúster. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16 (1), 1104-1-16. doi: [10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1104](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1104)
- Burke, R. J., e Mattis, M. C. (2007). *Women and minorities in science, technology, engineering, and mathematics. Upping the numbers*. Northampton, USA: Edward Elgar Publishing. Recuperado de <https://i.gal/1oRYf>
- Calvo Iglesias, M. E. (2019). Científicas e inventoras a través de los cuentos. *iQUAL. Revista de Género e Igualdad*, (2), 147-170. doi: [10.6018/iQual.340701](https://doi.org/10.6018/iQual.340701)
- Carrancio Baños, C. (2015). El techo de cristal en el sector público: acceso y promoción de las mujeres a los puestos de responsabilidad. *Revista Española de Sociología*, 27 (3), 475-489. doi: [10.22325/fes/res.2018.17](https://doi.org/10.22325/fes/res.2018.17)
- Consejería de Educación e Investigación. Comunidad de Madrid. (2018). *Educación en STEM, un reto para el futuro de Madrid*. Recuperado o 01 de marzo de 2020 de <https://i.gal/qsm8>
- Consellería de Educación, Universidade e FP. Xunta de Galicia. (2018) *As cifras da educación en Galicia. Estatísticas e Indicadores. Curso 2015/2016*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia-Plan Galego de Estatística. Recuperado de <https://i.gal/Qz1YL>
- Constitución de la República Española de 9 de diciembre de 1931. Recuperada de <https://i.gal/SC643>
- Constitución Española, de 27 de diciembre de 1978. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 29 de diciembre de 1978, núm. 311.1, pp. 29313-29424.
- Decreto 33/2007, do 1 de marzo, polo que se crea a Unidade de Muller e Ciencia de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*. Santiago de Compostela, 20 de marzo de 2007, núm. 56, pp. 4395-4398. (Modificado polo Decreto 97/2010, do 10 de xuño)
- Decreto lexislativo 2/2015, do 12 de febreiro, polo que se aproba o texto refundido das disposicións legais da Comunidade Autónoma de Galicia en materia de igualdade. *Diario Oficial de Galicia*. Santiago de Compostela, 17 de febreiro do 2016, núm. 32, pp. 5581-5647.
- Del Amo, M. C. (2009). La educación de las mujeres en España: de la “amiga” a la Universidad. *CEE Participación educativa*, (11), 8-22. Recuperado de <https://i.gal/0Kbv8>
- Delgado Martínez, M. A. (2009). *Científicas y educadoras. Las primeras mujeres en el proceso de construcción de la didáctica de las ciencias en España*. Murcia, España: Editum.
- Díaz Lucas, S. (2016). *Promoción estudios STEM, Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, en Navarra*. Recuperado o 16 de xuño de 2019 de <https://i.gal/YFMBR>
- Flores Solano, B. (2016). *¿Por qué las mujeres no quieren ser ingenieras? Caso: alumnas de Ingeniería de Tecnología Industrial en la UPCT* (trabajo final de grado). Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, España. Recuperado de <https://i.gal/nppmL>
- Giddens, A. (2014). *Sociología* (Traductor Muñoz de Bustillo, F.) (6ª ed.). Madrid, España: Alianza Editorial.
- Griffith, A. L. (2010). Persistence of women and minorities in STEM field majors: Is it the school that matters? *Economics of Education Review*, 29 (6), 911-922. doi: [10.1016/j.econedurev.2010.06.010](https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2010.06.010)

- Iglesias Galdo, A. e Sánchez Bello, A. (2017). Coeducación: feminismo en acción. *Atlánticas. Revista Internacional de Estudios Feministas*, 2 (1), 1-6. doi: [10.17979/arief.2017.2.1.2115](https://doi.org/10.17979/arief.2017.2.1.2115)
- Instituto Galego de Estatística, IGE. (2017). *Enquisa de poboación activa. Decil de salarios do emprego principal*. Recuperado de <https://i.gal/Q3DI5>
- Instituto Galego de Estatística, IGE. (2017). *Ensinanza universitaria. Estudantes matriculados/as nas universidades galegas segundo a área científica e sexo*. Recuperado de <https://i.gal/uBsXF>
- Instituto Galego de Estatística, IGE. (2017). *Ensinanza universitaria. Estudantes titulados/as nas universidades galegas por sexo*. Recuperado de <https://i.gal/8iCpR>
- Instituto Galego de Estatística, IGE. (2017) *Ensinanza universitaria. Profesoras e profesores de ensinanza universitaria por categoría e sexo*. Recuperado de <https://i.gal/7Nvpm>
- Instituto Nacional de Estadística, INE (España). (2018). *Anuario Estadístico de España 2018*. Madrid: INE. Recuperado de <https://i.gal/ISa2A>
- Instituto Nacional de Estadística, INE (España). (2018). *Graduados en ciencias, matemáticas y tecnología*. Recuperado de <https://i.gal/KjzLb>
- Instituto Nacional de Estadística, INE (España). (2018). *Mercado laboral. Actividad, ocupación y paro. Encuesta de población activa*. Recuperado de <https://i.gal/6Tig8>
- Instituto Nacional de Estadística, INE (España). (2019). *Anuario Estadístico de España 2019*. Madrid: INE. Recuperado de <https://i.gal/or2qB>
- Ley de Instrucción Pública, de 9 de septiembre de 1857. *Gaceta de Madrid*. Madrid, 10 de septiembre de 1857, núm. 1710, pp. 1-3. Recuperado de <https://i.gal/MqRqZ>
- Ley de 20 de julio de 1955, sobre FP inicial. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 21 de julio de 1955, núm. 202, pp. 4442-4453. Recuperado de <https://i.gal/QCktq>
- Ley 56/1961, de 22 de julio, sobre derechos políticos profesionales y de trabajo de la mujer. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 24 de julio de 1961, núm. 175, pp. 11004-11005. Recuperado de <https://i.gal/tt5C2>
- Ley 14/1970, de 4 de agosto, General de Educación y Financiación de la Reforma Educativa. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 6 de agosto de 1970, núm. 187, pp. 12525-12546. Recuperado de <https://i.gal/as8nm>
- Ley Orgánica 5/1980, de 19 de junio, por la que se regula el Estatuto de Centros Escolares. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 27 de junio de 1980, núm. 154, pp.14633-14636.
- Ley Orgánica 8/1985, de 3 de julio, reguladora del Derecho a la Educación. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 4 de julio de 1985, núm. 159, pp. 21015-21022.
- Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 4 de octubre de 1990, núm. 238, pp. 28927-28942.
- Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 4 de mayo de 2006, núm. 106, pp. 17158-17207.
- Lei Orgánica 3/2007, do 22 de marzo, para a igualdade efectiva de mulleres e homes. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 23 de marzo de 2007, núm. 71, pp. 1203-1234.
- Lei Orgánica 8/2013, do 9 de decembro, para a mellora da calidade educativa. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 10 de decembro de 2013, núm. 295, pp. 97858-97921.
- López Sáez, M. (1995). *La elección de una carrera típicamente femenina o masculina. Desde una perspectiva psicosocial: la influencia del género*. Madrid, España: Ministerio de Educación y

Ciencia, Centro de Investigación y Documentación Educativa. Recuperado de <https://i.gal/qjGto>

Mariño Fernández, R. (2009). *Análisis de la trayectoria formativa de la mujer en las ramas industriales de FP en Galicia y su inserción socio-laboral* (tesis doctoral). USC, Santiago de Compostela, España. Recuperado de <https://i.gal/3y55T>

Mariño Fernández, R. e Rial Sánchez, A. (2019). Balance de las necesidades formativas demandadas por mujeres que cursan o que han cursado ciclos de FP en familias profesionales masculinizadas: el caso de Galicia. *Educación*, 55 (1), 251-272. Recuperado de <https://i.gal/4sXqR>

Mateos Sillero, S. e Gómez Hernández, C. (2019). *Libro blanco de las mujeres en el ámbito tecnológico*. Madrid: Ministerio de Economía y Empresa. Recuperado de <https://i.gal/l3fVx>

Menacho Chiok, L.P. (2005). *Diccionario sobre género y temas conexos*. Lima: Centro de Documentación del Ministerio de la Mujer y Desarrollo Social. Recuperado de <https://i.gal/qZHnC>

Ministerio de Educación y FP. (2000). *Las cifras de la educación en España. Estadísticas e indicadores. Curso 1996-1997 (Edición 2000)*. Recuperado de <https://i.gal/cRoiK>

Ministerio de Educación y FP. (2009). *Las cifras de la educación en España. Estadísticas e indicadores. Curso 2006-2007 (Edición 2009)*. Recuperado de <https://i.gal/as3oX>

Ministerio de Educación y FP. (2019). *Las cifras de la educación en España. Estadísticas e indicadores. Curso 2016-2017 (Edición 2019)*. Recuperado de <https://i.gal/0BUor>

Ministerio de Educación y FP. (s.d.). *Informes Estrategia Europa 2020*. Recuperado de: <https://i.gal/UmMKU>

Mosteiro García, M. J. (1997). El género como factor condicionante de la elección de carrera: hacia una orientación para la igualdad de oportunidades entre los sexos. *Revista galego-portuguesa de psicoloxía e educación*, 1, 305-315. Recuperado de <https://i.gal/Y8B1x>

Mosteiro García, M. J. e Porto Castro, M. J. (2016). Género e investigación en educación. *Innovación educativa*, (26), 155-166. Recuperado de <https://i.gal/ybYsD>

Nuño Angós, T. (2000). Género y ciencia. La educación científica. *Revista de Psicodidáctica*, (9), 183-214. Recuperado de <https://i.gal/TQ5xh>

OIT. (2004). *Romper el techo de cristal. Las mujeres en puestos de dirección*. Recuperado o 16 de xuño de 2019 de <https://i.gal/Oc1AI>

OIT. (2016). *Las mujeres en el trabajo. Tendencias 2016*. Recuperado de <https://i.gal/KIgOi>

ONU. (s.d.) *Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, 11 de febrero*. Recuperado o 01 de marzo de 2020 de <https://i.gal/vgmSh>

Quesada Jiménez, J., e López López, A. (2010). Estereotipos de género y usos de la lengua: un estudio en Educación Secundaria. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, (25), 41-58. Recuperado de <https://i.gal/8GirT>

Real Decreto de 26 de octubre de 1901. *Gaceta de Madrid*. Madrid, 30 de octubre de 1901, núm. 303, pp. 497-499.

Resolución do 8 de xuño de 2018, da Dirección Xeral de Educación, FP e Innovación Educativa, pola que se convoca a participación no programa de innovación educativa "Espazos Maker" para centros docentes públicos da Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria durante o curso 2018/19. Santiago de Compostela, 8 de xuño de 2018. Recuperado de <https://i.gal/Rv6X8>

- Resolución do 12 de xuño de 2018, da Dirección Xeral de Educación, FP e Innovación Educativa, pola que se regula o bacharelato de excelencia en Ciencias e Tecnoloxía (STEMbach), de xeito experimental para o curso 2018/19. Santiago de Compostela, 12 de xuño de 2018. Recuperado de <https://i.gal/Zos1R>
- Rial Sánchez, A., e Mariño Fernández, R. (2011). La elección académico-vocacional de mujeres que cursan o han cursado ciclos formativos de ramas Industriales en FP: el caso de Galicia. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 22(2), pp. 165-184. doi: [10.5944/reop.vol.22.num.2.2011.66](https://doi.org/10.5944/reop.vol.22.num.2.2011.66)
- Sáinz Ibáñez, M., Castaño Collado, C., Meneses Naranjo, J., Fàbregues Feijóo, S., Müller, J., Rodó de Zárate, M., ...e Arroyo Prieto, L. (2017). *Se buscan ingenieras, físicas y tecnólogas. ¿Por qué no hay más mujeres STEM?* Fundación Telefónica. Madrid: Ariel. Recuperado de <https://i.gal/cRvBw>
- Sánchez Blanco, L. e Hernández Huerta, J. L. (2012). La educación femenina en el sistema educativo español (1857-2007). *El futuro del pasado*, (3), 255-281. Recuperado de <https://i.gal/i708F>
- Sanders, M. E. (2008). STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*. Recuperado o 16 de xuño de 2019 de <https://i.gal/hd0fm>
- Secretaría Xeral de Igualdade. Xunta de Galicia. (2016). *II Programa Galego de Muller e Ciencia 2016-2020*. Recuperado de <https://i.gal/6vo9D>
- Secretaría Xeral de Igualdade. Xunta de Galicia. (2017). *VII Plan Estratéxico de Galicia para a igualdade de oportunidades entre mulleres e homes 2017-2020*. Recuperado de <https://i.gal/jRPkk>
- Torres González, M.O. e Pau, B. (2011). "Techo de cristal" y "suelo pegajoso". La situación de la mujer en los sistemas alemán y español de ciencia y tecnología. *CTS: Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 6(18). Recuperado de <https://i.gal/VhIkp>
- UNESCO. (2019). *Descifrar el código: la educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM)*. París, Francia: UNESCO. Recuperado de <https://i.gal/EP6tv>
- Vázquez Alonso, A. e Manassero Mas, M.A. (2003). Los estudios de género y la enseñanza de las ciencias. *Revista de educación*, (330), 251-280. Recuperado de <https://i.gal/4DGk7>
- Vázquez Romero, I. M. e Blanco-Blanco, A. (2019). Factores sociocognitivos asociados a la elección de estudios científico-matemáticos. Un análisis diferencial por sexo y curso en la Educación Secundaria. *Revista de Investigación Educativa*, 37(1), 269-286. doi: [10.6018/rie.37.1.303531](https://doi.org/10.6018/rie.37.1.303531)

ITINERARIOS DE ISIDRO PARGA PONDAL PARA O CARTOGRAFADO XEOLÓXICO DE LAXE

LEONARDO DOCANTO, FRANCISCO J.

francisco.leonardo.docanto@gmail.com

RESUME

O labor de actualización da cartografía da xeoloxía de Galicia no pasado século foi un feito dunha gran complexidade na que o científico Isidro Parga Pondal fixo unha das máis importantes achegas. Resultado dos seus traballos foi o notable incremento no coñecemento da xeoloxía do país, publicando un importante número de mapas xeolóxicos. O estudo da xeoloxía de Galicia comezara nos seus anos como docente na Universidade de Santiago, de onde foi expulsado no ano 1936, acusándoo dunha ideoloxía contraria á que logo prevalecería en España por varias décadas. Máis tarde fundou o Laboratorio Xeolóxico de Laxe, desde o que desenrolou o traballo comenzado na Universidade, recollendo gran cantidade de información para a realización de mapas xeolóxicos. No presente traballo recolleemos unha redacción dos itinerarios xeolóxicos de Parga para a elaboración do mapa xeolóxico de Laxe a escala 1:50.000, publicado, xunto coa súa correspondente memoria, no ano 1953.

ABSTRACT

The work of updating the cartography of the geology of Galicia in the last century was a fact of great complexity in which the scientist Isidro Parga Pondal made one of the most important contributions. Result of their work was the remarkable increase in the knowledge of the country's geology, publishing an important number of geological maps. The study of the geology of Galicia had begun in his years as a teacher at the University of Santiago, where he was expelled in 1936, accusing him of an ideology contrary to what would later prevail in Spain for several decades. Later he founded the Laboratorio Xeolóxico de Laxe, from which he develops the work started at the University, collecting a large amount of information for the realization of geological maps. In the present work we collect a wording of the geological itineraries of Parga for the elaboration of the geological map of Laxe the scale 1: 50,000, published, together with its corresponding memory, in the year 1953.

Palabras clave: Isidro Parga Pondal, Geología, mapas, Laxe, Galicia.

1. ORIXES DOS MAPAS XEOLÓXICOS DE PARGA PONDAL

Isidro Parga Pondal foi profesor auxiliar de Análise Química, Química Inorgánica e Química Orgánica na antiga Facultade de Ciencias da Universidade de Santiago de Compostela entre 1922 e 1936¹. A elaboración dos mapas xeolóxicos foi para el un entretemento nos primeiros anos, nos que aproveitaba o descanso das súas actividades académicas para aumentar os seus coñecementos de Xeoloxía, necesarios para el naquel momento para poder levar a cabo estudos máis completos e complexos de xeoquímica, a súa especialización nos seus anos docentes en Compostela. Naquela época comezou os seus primeiros esbozos cartográficos nos arredores da capital galega (Leonardo, 2017), e en Laxe, a súa vila natal. Estes últimos percorridos foron o inicio do seu primeiro mapa xeolóxico publicado en colaboración co *Instituto Geológico y Minero de España* (IGME) no ano 1953: o mapa xeolóxico de Laxe a escala 1:50.000². Con anterioridade, a mesma rexión tiña sido estudada por diferentes investigadores, sendo o iniciador deles Guillermo Schulz³, quen aportou en 1835 os primeiros datos xeolóxicos de Galicia, e foi seguido por José Macpherson, na súa obra *Descripción petrográfica de los minerales arcaicos de Galicia* (1886), Charles Barrois, autor de *Recherches sur les terrains anciens des Asturies e de la Galice* (1882), Hernández Sampelayo, con *Los Hierros de Galicia* (1922, 1931 e 1935) e *Reconstrucción del Mapa Geológico de Galicia* (1922) ou Walter Carle (1945)⁴.

Á hora de realizar os traballos cartográficos, Parga, coñecedor da Historia da Xeoloxía e da forma de traballar destes xeólogos que estudaran Galicia con anterioridade⁵, semella seguir a metodoloxía

¹ Isidro Parga Pondal (Laxe, 1900 - A Coruña, 1986) licenciouse en Ciencias Químicas na Universidade Central e recén rematada a carreira obtivo unha plaza de profesor auxiliar de Análise Química na Facultade de Ciencias da Universidade de Santiago, cargo que desempeñou ata a súa expulsión da Universidade en 1936. Durante este periodo obtivo dúas importantes bolsas, unha da Junta para la Ampliación de Estudios, que lle permitiu estudar xeoquímica e xeoloxía en Zürich entre os anos 1930 e 1931, e outra da Asociación Española de Fabricantes de Cemento, desfrutada en Berlín entre 1932 e 1933. Estas bolsas lle permitiron traballar cos mellores xeoquímicos e xeólogos do mundo naqueles anos, como Paul Niggli, en Zürich, ou Hans Kühl en Berlín, convertindo a Parga no xeoquímico máis destacado co que contara España ata o momento. A súa expulsión da Universidade Compostelana no ano 1936, acusándoo de galeuista e ideoloxía de esquerdas, estivo influenciada en parte pola súa pertenza ao Seminario e a súa amizade con destacados galeguistas, como Alfonso Daniel Rodríguez Castelao. Retirado á súa vila natal, fundou alí o Laboratorio Xeolóxico de Laxe, que entre 1940 e 1965 foi a única institución galega dedicada ao estudo da Xeoloxía (Vidal, J., 2009). Desde este Laboratorio levou a cabo importantes traballos, como a publicación, en colaboración co IGME, de mapas xeolóxicos de Galicia, nos que aportou gran cantidade de novos e importantes datos.

² En anos vindeiros, ao mapa de Laxe seguiríanlle outros doce á mesma escala doutras rexións de Galicia (Leonardo, 2017: 86).

³ Guillermo P. D. Schulz y Schweizer (Habichtwalder, 1800-Aranxuez, 1877) enxeñeiro de minas de orixe alemá que traballou en España desde 1826 ata a súa morte. Comezou a estudar a xeoloxía galega no ano 1832, investigacións que deron lugar a publicación do Mapa Petrográfico de Galicia en 1835, primeiro mapa xeolóxico publicado en España. Foi un dos introdutores da cronoestratigrafía moderna en España e ocupou diversos cargos de responsabilidade: Inspector Xeral do Corpo de Minas para Galicia e Asturias, Director da Escola de Minas ou Director do Instituto Xeolóxico de España.

⁴ Publicou na revista *Geotektonische Forschungen* resúmenes das súas observacións feitas en numerosas excursións por Galicia, froito do seu traballo nunha empresa mineira alemá-española. As súas investigacións sobre o noso país víronse interrompidas no ano 1940 por ter que regresar a Alemaña.

⁵ En moitas das súas investigacións inclúe unha introdución cos traballos previos existentes de xeólogos que estudaran a rexión obxecto de estudo con anterioridade. Fai un resúmen de moitos deles en PARGA, I. (1962).

do xeólogo francés Charles Barrois⁶. Seguindo o seu modelo, Parga apunta sobre o terreo todas as informacións que lle suxería a observación das formacións xeolóxicas, medindo direccións e buzamentos, levantando cortes xeolóxicos con grande exactitude e levando moitas veces un cabalo para cargar as rochas recollidas. Como peculiaridade, as anotacións de Parga de cada día aparecen firmadas, seguramente para darlle unha oficialidade e xustificar o traballo levado a cabo para o IGME, organismo para o que comezou a traballar de forma oficial no ano 1951, no que foi nomeado colaborador rexional de dito organismo.

Para a elaboración do mapa xeolóxico de Laxe, Isidro realizou numerosas excursións pola rexión, ás veces xunto con diferentes colaboradores⁷. Nelas, o xeólogo galego ía elaborando cadernos de campo, con descricións detalladas do que atopaba nos seus itinerarios, de xeito similar a como Guillermo Schulz fixera máis de cen anos antes para a elaboración da súa obra “Descripción geognóstica del reino de Galicia” (1835)⁸. Estes datos eran completados con anotacións nas follas dos mapas nas que sinalaba as rutas. Estes mapas foran primeiro calcados da folla a escala 1:25.000 do Servizo Xeográfico do Exército (Cartografía Militar de España), das que Isidro facía dúas copias: nunha incluía as curvas de nivel, cos nomes das localidades e principais accidentes xeográficos e o outra cos datos xeolóxicos (pintados a man, en diversas cores, os diferentes tipos de rochas e con breves apuntamentos, completados nas anotacións referidas).

Á hora de saír ao campo para estudar a xeoloxía de Laxe, Parga seguiu itinerarios realizando cortes xeolóxicos, en xeral, paralelos á costa, aínda que con saltos espaciais e temporais. O comezo destes itinerarios tivo lugar en setembro de 1934, aos poucos meses de obter o doutoramento, e continuou despois de ter rematado este traballo para o IGME, ao aparecer datos de excursións feitas en agosto de 1956, información que foi empregada nos seus estudos cartográficos posteriores⁹. Nestas saídas ao

⁶ Charles Eugène Barrois (Lille, 1851-Sainte-Geneviève-en-Caux, 1939). Catedrático de Xeoloxía pola Universidade de Lille. Realizou diversos estudos sobre o Cretáceo superior en Inglaterra e Irlanda que constituíron a súa tese de doutoramento. Durante a primeira metade de 1877 viaxou polo norte de España, onde levou a cabo importantes descubrimentos litolóxicos, paleontolóxicos e estratigráficos en Galicia, Asturias e arredores de Santander. Estes estudos quedaron recollidos na súa obra «Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice» (1882).

⁷ No traballo de cartografado xeolóxico Parga contou cos seguintes colaboradores: Gabriel Martín Cardoso, nos mapas de Laxe, Carballo, Tui e Valença (nesta xa figura como falecido) e Tomiño e Caminha (aínda que este último foi publicado en 1.963, case dez anos despois do falecemento de Cardoso, este era autor de anotacións do estudo da rexión, razón pola cal figura como coautor). Eugenio Torre Enciso aparece como colaborador das follas de Oia (a primeira na que aparece), Muxía, A Guarda e Moledo, Santa Comba, Outes, Fisterra, Betanzos, Ordes, Oza dos Rios e Pontedeume. López de Azcona, oficializando as investigacións, ao ser o único funcionario do IGME, figura como autor en todos os mapas, mentres que nos que abranguen parte do norte de Portugal figuran colaboradores lusos. Na folla Tui e Valença traballaron Carlos Teixeira, Carlos Torre de Assunção e José de Oliveira; na da Guarda e Moledo, Carlos Teixeira, José de Oliveira e Fernando Nery; e no mapa de Tomiño e Caminha, Carlos Teixeira e D.J.C. Perdigao.

⁸ Ver SCHULZ, GUILLERMO (1992): Cuaderno de Campo, editado por Juan Ramón Vidal Román. Edicións do Castro-Sada. Dous volumes.

⁹ O estudo xeolóxico de Laxe constitue un caso particular con respecto ao resto de mapas xeolóxicos das rexións galegas elaborados por Parga. Malia que a súa relación oficial co IGME comezou en 1951, como dixemos, a maior parte das excursións feitas tiveron lugar antes de traballar para ese organismo, incluso antes da proposta realizada en 1945 polos enxeñeiros desa institución. Deste xeito, cando comezou a colaborar con López de Azcona, o traballo máis importante neste caso estaba feito, sendo a participación do enxeñeiro e de Martín Cardoso case testimonial, aínda que os dous figuran como

campo realizou numerosas fotografías e recolleu grande cantidade de mostras representativas, conservadas todas elas no material do Arquivo do Laboratorio Xeolóxico de Laxe (LXL) .

En relación coas datas das excursións, estas presentan certas peculiaridades. Nos anos anteriores a 1951, especialmente no 1949 e 1950, ambos cun considerable numero de percorridos, os itinerarios tiveron lugar na súa gran maioría na segunda parte do ano, especialmente no mes de outubro. Nos anos 1951 e 1952 esta tendencia cambia, sendo mais frecuentes as excursións nos meses de verán, algo lóxico tendo en conta a dura climatoloxía no inverno na Costa da Morte. Ao ano seguinte o traballo de campo repártese ao longo de todo o ano, mentres que a partir de 1954 as excursións volven a centrarse no verán, ao estar moi condicionadas pola presenza dos acompañantes de Parga. É moi probable que estes cambios de duración e frecuencia fosen debidos á necesidade de compaxinar os estudos xeolóxicos coas labores empresariais que Parga desempeñaba en diferentes empresas mineiras. Por citar algunhas, en “Kaolines de Lage” foi director xerente; en “Zeltia”, investigou sobre calizas para usos agrícolas e insecticidas; en “Titania, S.A.”, con traballos con ilmenitas, de onde se extraía titanio para o seu uso na fabricación de pinturas brancas... (Gurriarán, 2014).

2. CARTOGRAFANDO XEOLOXICAMENTE LAXE

De seguido facemos unha ordenación e redacción das excursións feitas para Isidro Parga para a elaboración do mapa xeolóxico de Laxe, a partires da documentación conservada no Arquivo do LXL. Ademais da información aquí presentada, tamén se conserva o manuscrito do propio Parga que corresponde co apartado III da “Memoria explicativa” asociada ao mapa xeolóxico de Laxe publicado polo IGME en 1953.

A primeira data recollida no caderno de campo de Laxe ten, como dixemos, data de setembro de 1934. Corresponde a uns anos cun Isidro recién doutorado en Ciencias pola Universidade Central, cuns actualizados coñecementos de Xeoloxía, Mineraloxía e Xeoquímica, adquiridos principalmente entre os anos 1930-31 na *Eidgenössische Technische Hochschule* (ETH) de Zürich da man dos mellores xeólogos e xeoquímicos do mundo naqueles momentos, dirixidos por Paul Niggli¹⁰. Tendo como base todos estes coñecementos, o científico laxense propónse resolver un gran problema científico do que fora consciente desde as súas primeiras investigacións como profesor universitario: a cartografía xeolóxica galega carecía de exactitude e estaba moi pouco actualizada, feitos que dificultaron o comezo dos seus primeiros traballos xeoquímicos. Con esta idea Parga comeza un estudo sistemático da xeoloxía de Laxe. O seu primeiro estudo detallado tivo lugar nas proximidades de Punta de Traba, no que identifica o contacto do granito de dúas micas co anatóxico. A excursión deste día gardaba relación co traballo “Ensayo de clasificación cronolóxica de los granitos gallegos”, que Parga presentou en 1935

coautores do traballo. A partir da documentación consultada vemos que o mineraloxista madrileño tan so participa nos itinerarios de cinco datas, dúas das cales en compañía tamen de Lopez de Azcona, nas únicas aparicións rexistradas.

¹⁰ Paul Niggli (Zofingen, Suíza, 1888-Zürich, 1953). En 1907 comezou os seus estudos na Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) de Zürich. No ano 1911 obtivo o doutoramento, completando a súa formación no Instituto de Física e Química da Technische Hochschule Karlsruhe e no Laboratorio Xeofísico da Carnegie Institution en Washington. Desde 1913 ata 1920 foi privatdozent de Mineraloxía e Petrografía na ETH. En 1920 foi nomeado catedrático no mesmo centro, onde impartiu cursos de Petroloxía, Mineraloxía e Cristalografía. Entre 1928 e 1931 foi Reitor da ETH. A súa maior achega á ciencia é o método dos “Valores de Niggli”, empregado nos cálculos petrográficos da composición das rochas. Os estudos de xeoloxía de Parga tamén se viran moi beneficiados pola súa labor ao fronte do Laboratorio de Xeoquímica da Universidade que el dirixía e que era por si mesmo un fito na historia da Ciencia en Galicia, e poderíamos dicir tamén en España, onde era o único dese tipo creado ata o momento. Nese Laboratorio, entre outras investigacións, Parga realizaba o estudo das diferentes series de rochas eruptivas e metamórficas do macizo Galaico-Duriense.

no Porto dentro da Semana Cultural Galega, e que representa unha aproximación á datación cronolóxica desas rochas, centrándose principalmente nas presentes en Galicia, pero relacionando a información coas portuguesas. Tratábase dun estudo novidoso, ao non ter sido presentado con anterioridade por ningún dos xeólogos que estudaran o complexo tectónico de Galicia.

No caderno de campo que aquí analizamos non se recolle máis información ata o ano 1942, data a partir de cal o traballo adquire un ritmo máis constante. Estes traballos enmárcanse nunha nova etapa na vida de Parga, apartado da Universidade e centrado na súa tarefa como empresario mineiro na súa vila natal¹¹. Estes novos apuntamentos corresponden aos días 4 e 12 de outubro de 1942, nunha continuación dos traballos iniciados no ano 1934. Un dato que nos resulta de grande interese é o feito que nesas datas Isidro fora acompañado do mineraloxista madrileño Martín Cardoso, colaborador de Parga en diferentes investigacións e padriño na tese de doutoramento do científico laxense¹². Ámbolos dous investigadores, nunha zona próxima á estudada 8 anos antes, recollen mostras para o seu estudo e realizan unha descrición da rexión, desde Soesto ata Traba, na que, segundo se recolle, se parte dun granito gnéisico de dúas micas, atravesado por pegmatitas, que predominan na rexión. Esta rocha, segundo os autores, vai adquirindo un carácter máis gnéisico ao aproximarse a Nande. Tamén se inclúe unha descrición do granito dos penedos de Traba, sinalando a súa cor avermellada e a súa facies, moi característica segundo el. Continúan explicando que se trata dun granito de biotita, que presenta cristais de ortosa idiomorfos, rectangulares e moi numerosos. É de resaltar o feito que estas anotacións foron feitas polo propio Cardoso, algo case insólito neste investigador, quen acostumaba a facer as súas notas de xeito taquigráfico, sendo moi escasa a documentación escrita conservada.

A seguinte información data de 1945. Esta interrupción foi debida ao descubrimento do importante xacemento de caolíns en Coéns no ano 1942, sendo moi probable a colaboración de Martín Cardoso no achado do novo depósito, que tivo consecuencias moi positivas na economía do científico laxense. Co novo descubrimento, Parga tivo que dedicar máis horas de traballo á súa empresa e menos á realización de excursións xeolóxicas.

O 7 de marzo de 1945 Isidro continuou co itinerario que realizara con Cardoso na data anterior, revisando a presenza do gneis glandular xa sinalado e escribindo unhas breves anotacións do que foi vendo ao longo da excursión¹³, que foi continuada o 13 de setembro, proseguindo no substrato definido polo xeoquímico como gneis glandular. Nesta nova localización, á dereita do Monte Ardal, Parga recolle unha nova rocha, un gneis de biotita con feldespatos agrisados, que semella estenderse polos arredores. Dez días despois visita as proximidades da mesma rexión, na que representa a última das excursións documentadas dese ano. Neste caso o itinerario ten lugar ao sur do anterior, e durante o mesmo Isidro fai novas anotacións e recolle novas mostras xeolóxicas¹⁴.

¹¹ Ao ser expulsado da Universidade, Parga viuse obrigado a refuxiarse en Laxe, onde se puxo ao fronte da empresa familiar "Kaolines de Lage". Posteriormente colaborou en Zeltia, Titania, ou en Cementos Cosmos.

¹² No ano 1942 ambos tiñan varios puntos en común, ademais dunha profunda amizade, foran separados da universidade despois da Guerra Civil, Parga da súa auxiliaría en Compostela e Cardoso da súa cátedra na Universidade Central, e ambos colaboraban na empresa Titania S.A., fundadas polos Fernández López, para aplicar os seus coñecementos á industria, tanto en Galicia como en Estremadura.

¹³ Explica como desde o alto do Canduá, na denominada valgada de San Pedro, observa o granito, inxectado e con estrutura glandular gnéisica. Tamén apunta diversos datos relativos á recollida de mostras, coa súa precisa localización.

¹⁴ Ao ir de Laxe a Ponteceso recolle un novo exemplar de gneis glandular. Tras detallar o lugar da súa procedencia, a define como dura, compacta e arxilosa na dirección da gneisificación e de cor gris. Tamén sinala os seus minerais (cuarzo, un feldespato, dificilmente discernible e de cor gris, e biotita,

Os estudos xeolóxicos de campo son retomados case un ano despois. Os días 10 e 17 de setembro de 1946 Parga visita as proximidades do Briño, nunha zona de contacto entre o gneis de dúas micas e o gneis de biotita migmatítico, atravesada por filóns ácidos e básicos. Tan só aparecen as referencias das datas no mapa xeolóxico da zona, sen ningún apuntamento a maiores, feito que representa a localización na que recolleu exemplares representativos da rexión, como foi o caso dunha anfibolita procedente dos diques desta rocha.

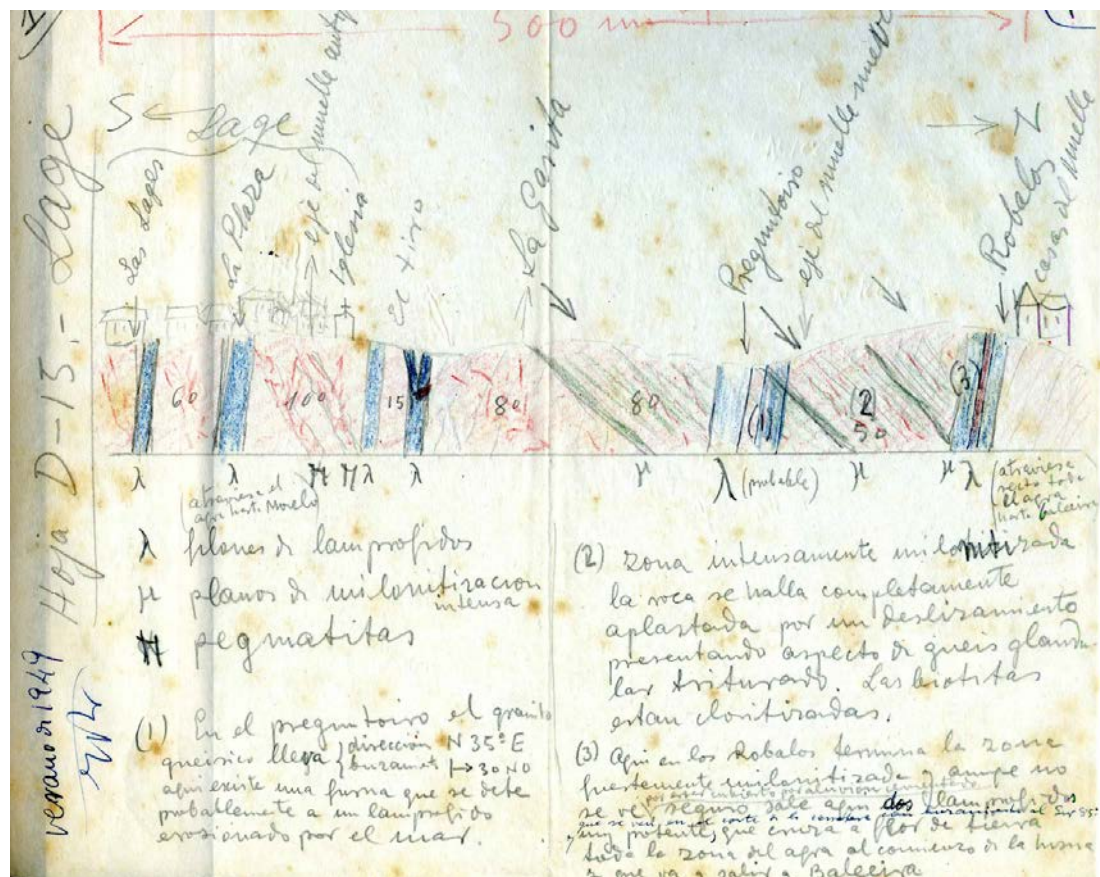


Figura 1. Corte xeolóxico Laxe-Robalos

A continuación ten lugar un período no que non existe referencia de novas excursións ata 1949, ano no que Isidro retoma as súas investigacións de campo cunha maior intensidade. Coa data de verán de 1949 recóllense diferentes anotacións da rexión contigua á que visitara a última vez. As notas fan referencia ao descubrimento dun sistema de lamprófiros nas proximidades da mina de Coéns, de onde se extraía o caolín para a empresa que Parga dirixía. Os lamprófiros descubertos, segundo o xeoquímico, forman varios filóns, cunha dirección Oeste 15° Norte, igual aos que cruzan a ría de Laxe, e teñen unha lonxitude de máis dun quilómetro. O recoñecemento xeolóxico desta rexión continúa tres días despois, nunha excursión que comezou en Señoráns. Desde este lugar o xeoquímico sinala a

intercalada entre capas do cuarzo e o feldespato) e o ángulo de gneisificación, duns 30° Este. A nota remata sinalando que este tipo de gneis, con lixeiras modificacións, forma un gran macizo que se estende desde o norte de Malpica ata máis ao sur de Bañías.

presenza de lousa¹⁵. Seguindo cara ao Norte observa como esta rocha aparece entre granito, situado ao Este e o Oeste¹⁶. Como complemento á información recollida por Parga durante estes meses atopamos o esquema dun corte xeolóxico entre Laxe e Robalos, no que están situados os filóns de lamprófiros, os planos de milonitización, as pegmatitas e o granito, datos que son completados con varios apuntamentos, como o ángulo de buzamento¹⁷ ou as características dalgunhas das rochas representadas e a extensión dos filóns (Figura 1).

O estudo da xeoloxía dos arredores de Laxe continúa o 8 de setembro de 1949, cunha excursión na que participan Parga e Cardoso xunto a Marcel E. Denaeyer¹⁸, Catedrático de Mineraloxía e Petrografía da Universidade de Bruxelas. Os resultados deste itinerario coñecémolos grazas a anotacións de Cardoso. Neste caso os tres investigadores se desprazaran ata as canteiras de onde se estaba a extraer o material para a construción do porto na enseada de Laxe. Segundo Cardoso, das canteiras se extraía un granito de dúas micas, orientado e moi fresco, atravesado por pegmatitas con biotita cloritizada e por partes con textura louseña¹⁹. Seguindo coa excursión, os tres científicos chegan a unha zona onde segundo Cardoso había un dique de lamprófiro, de formación posterior ao granito, que atravesaba Punta Insua e que conta cun grosos de dous metros. Ao extremo da canteira atopan pegmatitas difusas, de formas irregulares, albergadas no granito. O 18 de outubro dese mesmo ano, poucos días despois desta excursión, Parga pasou a ser nomeado membro da Sociedade Belga de Xeoloxía, da man de Denaeyer e de René Cambier, enxeñeiro de minas e enxeñeiro metalúrxico do mesmo país.

O 18 de setembro Isidro, en solitario, visita a parte máis ao leste do mapa de Laxe²⁰. Partindo de Niñóns baixa ata a praia (atopando de camiño montículos de granito gnéisico) de areas brancas e sen ilmenita segundo el, onde sinala a existencia de inclusións de lousa duns 200 m² de superficie, moi repregada e con inclusións de cuarzo e que está rodeada de granito²¹.

O 1 de outubro do mesmo ano retoma as excursións, esta vez na compañía dun novo participante, seu sobriño Jaime Valdés Parga. A rexión visitada corresponde aos arredores de Ponteceso, iniciando o

¹⁵ Traducimos o termo empregado por Parga, “pizarra”, por lousa, cando en galego este último termo é máis xeral.

¹⁶ Máis adiante, “ao cruzar unha liña de alta tensión que vai de Baio a Nande”, observa que as lousas levan unha dirección N-S, e que son atravesadas por filonciños de cuarzo e aplitos de dimensións variadas. Ao chegar a Gundar descobre un contacto destas lousas co granito de dúas micas e pegmatítico, que forma os montes situados ao Oeste, entre Gundar e Nande.

¹⁷ Buzamento: dirección e ángulo de inclinación.

¹⁸ Denaeyer estaba casado con Pilar Fernández Aguilar, filla de Lucas Fernández Navarro. Navarro, coñecedor das investigacións xeoquímicas de Parga, como xa sinalamos, seguramente fora o motivo de que Denaeyer coñecese a Isidro. En 1954 publicou unha investigación sobre a xeoloxía de Galicia: “Las migmatitas de Villagarcía de Arosa”, no *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 52. Este número da publicación foi unha homenaxe a Eduardo Hernández-Pacheco polo seu oitenta aniversario.

¹⁹ Sinala que a rocha se podería tratar dun granito sintectónico nunha época pretectónica posterior, que foi afectado despois por eses movementos.

²⁰ Referímonos ao publicado polo IGME en cuxa realización traballou Parga.

²¹ Nesta rexión non atopa pegmatitas, pero si bastantes filóns de cuarzo. Segundo Isidro toda a rexión, dende a praia de Biñóns ata a enseada da Barda, está constituída fundamentalmente por granito gnéisico micromilonitizado. Tamén descobre un filón de lamprófiro, do mesmo aspecto dos que cruzan a ría de Laxe, e duns dous ou tres metros de ancho.

itinerario na casa que fora vivenda de Eduardo Pondal²². Dende alí percorreron unha zona con terreo diluvial ata chegar á curva do río que Parga denomina como Pozo de Santa Cristina, onde comeza o monte, constituído por gneis glandular, rocha compacta, dura e de cor gris-rosada, constituída por biotita, ortosa e cuarzo²³. O xeoquímico explica a forma na que ten lugar a alteración da rocha: a oxidación do feldespato, que pasa de cor rosada a amarelenta, mentres que a biotita se cloritiza, adquirindo un aspecto verdoso-gris. O resultado é unha terra amarelenta, bastante homoxénea.

Continuando con esta mesma excursión, no camiño ata Anllóns atopan dous filóns de anfibolita, que distan entre si uns cen metros. Seguindo unha dirección N-NE paralela ao río encontran agora unha zona de granito e de novo gneis glandular. Ao chegar a Saimia observan que o río cruza un dique duns 50 metros de ancho de leptinita felsítica, cunha dirección concordante coa da gneisificación do gneis. A leptinita é definida como maciza, dura e compacta, de cor rosada con manchiñas negras, formada por feldespato rosa, cuarzo e outro mineral negro, en forma de granitos²⁴.

Máis adiante, seguindo cara ao Leste, regresan a Ponteceso, cruzando o río Anllóns e descubrinto na súa marxe dereita un importante filón de anfibolita e logo gneis. De regreso en Saimia atravesan de novo o río polo filón de felsita, que seguen polo seu lado noroeste. Tras cruzar a ponte entre Ganga e Anllóns observan a acción metamórfica da inxección granítica, que caracterizan como moi complexa na súa estrutura, ao penetrar entre as capas do gneis glandular, transformándoo e metamorfizándoo. Esta mesma intrusión tamén atravesa, segundo eles, os filóns de anfibolita que atopa e remata ao saír de Anllóns polo Norte, onde observan varios filóns de cuarzo dun metro de ancho, que cortan á anfibolita e aos gneises. O itinerario rematou volvendo cara á Trabe, atopando polo camiño varios filóns de anfibolita.

As anotacións deste día aparecen completadas cun corte xeolóxico-petrográfico de dirección NO-SE, dende Ponteceso ata Beres, no que se sinala a presenza dos filóns de anfibolita, o gneis glandular, a intrusión granítica, o dique de felsita e o terreo aluvial.

Tan só pasan dous días ata a realización dunha nova excursión. Na tarde do día 3 de outubro e de novo na compañía de Jaime Valdés, Parga retoma as investigacións na mesma zona que na data anterior, malia que nesta ocasión a expedición tivo lugar máis ao oeste. Nesta ocasión, o obxecto da saída era comprobar se a sucesión de intrusións filonianas que observaran en Anllóns tiñan prolongación ao oeste. Saíndo pola estrada do Bosque ata Cundíns, descubren que si se presentan as mesmas intrusións observadas durante a excursión anterior, aparecendo ademais na mesma orde²⁵. Tras pasar o río Reguengo²⁶ observan dous filóns de anfibolitas e máis adiante unha zona de gneis glandular con feldespato rosa, similar ao que recolleran en Anllóns, e do que consideran a súa continuación. Seguen por unha zona que supoñen correspondente á intrusión granítica, mais neste caso o terreo estaba tan alterado que non se atreven a aseguralo. Ao chegar a Leas atopan as leptinitas felsíticas gneísicas, da

²² O poeta Eduardo Pondal Abente era familiar de Isidro Parga Pondal por dúas vías, xa que era primo irmán de Isidro Pondal Abente (avó materno do xeoquímico), pola rama dos Abentes, mentres que pola rama dos Pondais era primo segundo deste mesmo avó do xeoquímico.

²³ O primeiro destes minerais aparece, segundo el, orientado na dirección da gneisificación. A ortosa, estratificada entre a biotita, forma filonciños e glándulas rosadas, mentres que o cuarzo tan só visible coa lupa, e aparece xunto a ortosa, interestratificado entre a biotita.

²⁴ O dique desta rocha aparece, segundo eles, marcado por ámbolos lados por dous importantes filóns, do que semella anfibolita negra verdosa, moi dura, compacta e pesada, de gran fino e na que non era doado distinguir os seus constituíntes.

²⁵ Neste caso o gneis tiña aspecto de granito gnéisico de feldespato branco, atravesado por filóns de anfibolitas alteradas e aplitos ou granitos aplíticos, tamén moi alterados.

²⁶ Non atopamos o nome deste río en mapas da rexión.

que recollen dúas mostras, unha con feldespatos brancos e sen micas e cuns puntiños negros, e outra máis gnéisica, con feldespatos rosados, mica verdosa e sen o mineral negro. Esta última mostra, segundo Parga, tende ao tipo de gneis de gran fino que se estende cara ao sueste e que forma todo a parte este do monte de Cundíns. Tras sinalar a dirección e ángulo de buzamento deste gneis, explica que se atopa cortado de xeito concordante por varios filóns de anfibolitas.

De novo pola tarde, pero do día 12 dese mesmo mes, Parga prosegue nunha rexión situada ao sur da zona percorrida na anterior data, coa intención de comprobar a extensión dos materiais estudados nas datas previas. Neste día o comezo é no quilómetro tres da estrada de Borneiro, desde onde segue a pé ata Laxe, pasando por Vilaseco, Fontefría e Lourido. No inicio da ruta observa a presenza do gneis de biotita e feldespato branco, que se estende cara a Borneiro, cunha orientación Norte-Sur e atravesado por numerosos filóns aplíticos e anfibolíticos e vetas de cuarzo. Continuando ata Vilaseco, recolle varias lousas nunha zona na que aparecen atravesadas por filóns de aplito. Á saída desta localidade observa como estas lousas presentan unha dirección N – 5° E e un buzamento vertical²⁷. Ao avanzar ata Fontefría os filóns aplíticos fanse máis abundosos, mais sempre son concordantes e a súa dirección é N – 15° E.

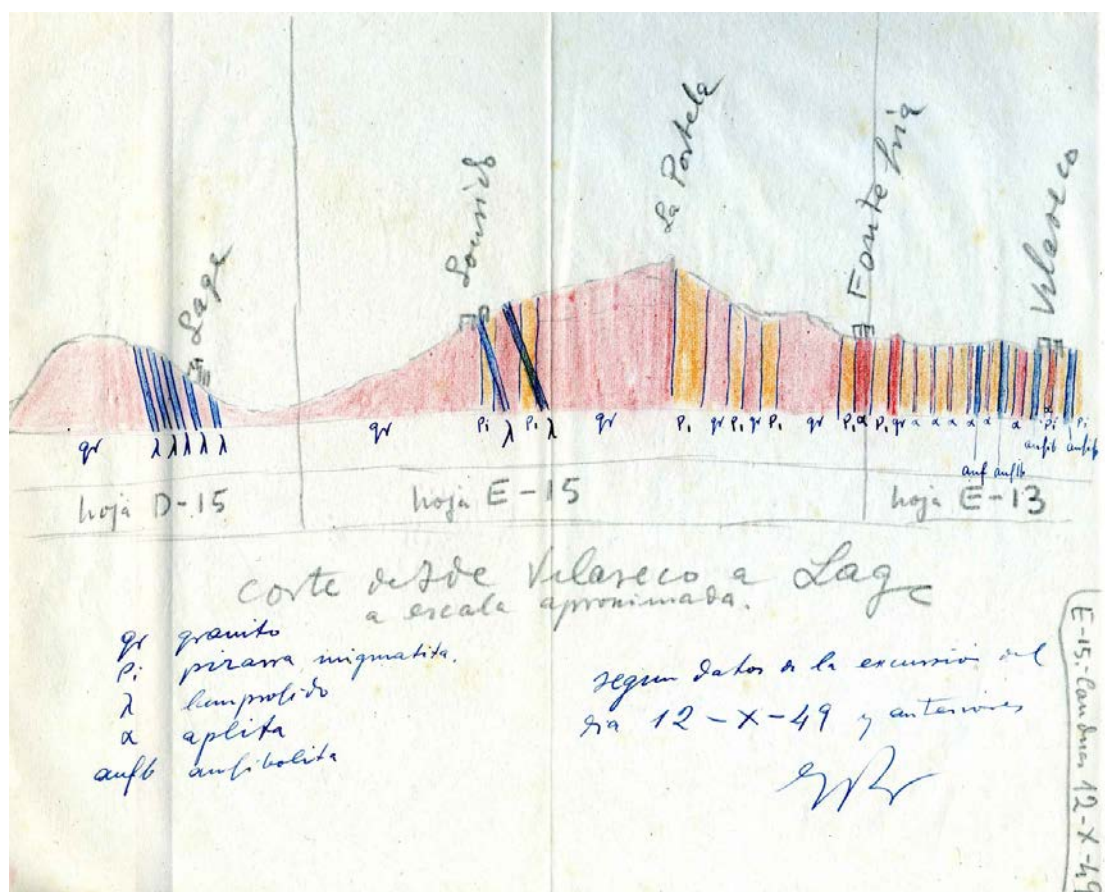


Figura 2. Corte xeolóxico Vilaseco-Laxe

²⁷ Explica o xeoquímico que estas rochas están atravesadas por vetas de cuarzo, dando lugar ás veces a migmatitas, formadas case exclusivamente de cuarzo e biotita

Uns cen metros antes de Fontefría atopa un gran dique de granito de biotita, duns vinte metros de ancho do que Parga recolle unha mostra para a súa colección. Segundo el, trátase dun granito de gran fino e feldespato branco, coa mesma dirección que os aplitos. As lousas citadas anteriormente chegan a contactar co granito que xa aparecía na base das casas de Fontefría²⁸. Ao saír desta localidade observa de novo lousas e máis adiante o granito gnéisico con continuación ata A Portela, mais con varias intercalacións de lousas de potencia variable. Cando chega a Portela, describe o granito como micromilonítico, coa mesma estrutura e demais caracteres que a rocha observada en Niñóns e co granito que vira no pico do Castelo de Lourido, a uns 750 metros ao norte de Portela. Á vista destas observacións, considera moi probable que esta forma micromilonitizada formase unha banda de menos dun quilómetro entre Laxe e Niñóns, en contacto con zonas macromilonitizadas ao Oeste.

Seguindo ata Lourido e antes de chegar a esta localidade se encontra cunha pequena faixa de lousas, logo granito e un filón do que semella lamprófiro, pero que Parga non pode estudar ben no terreo por estar anoitecendo. A continuación atopa unha nova faixa de lousas, de máis anchura que a anterior, e desde Lourido ata Laxe, de novo o granito. Todas estas anotacións son plasmadas no debuxo dun corte petrográfico entre Vilaseco e Laxe, sinalando os principais tipos de rocha, os ángulos de buzamento e a anchura relativa de cada un dos filóns (Figura 2).

Continuando coas numerosas excursións que o científico laxense fixo no mes de outubro de 1949, o día 22 realiza unha nova saída xunto a Jaime Valdés. De xeito similar a como viñan facendo, realizan o itinerario pola tarde, percorrendo A Graña, Carballido, Cerezo, A Bouza e Ponteceso. Segundo Isidro, toda a rexión está constituída por unha rocha louseña cunha orientación principal N – 20°E, atravesada de xeito concordante por dous sistemas filonianos, un granítico ou aplítico, que se intensifica cara ao Oeste, e outro de anfibolitas ou rochas básicas, que se intensifica ao Leste. Ambos se atopan entre o granito gnéisico de Niñóns, ao Oeste, e os gneises glandulares do Ardal, ao Leste.

Logo sinala detalladamente diversas localizacións nas que era posible observar os filóns máis importantes²⁹. Ao avanzar atopa outro filón anfibolítico e xa en Carballido, unha zona con varios diques granítico-aplíticos de grande amplitude. Estes últimos separan, segundo o xeoquímico, dúas grandes intrusións de granito pegmatítico, unha ao Norte e outra ao Sur. Este granito é definido como de dúas micas, atravesado por numerosas vetas glandulosas de filonciños pegmatíticos con grandes feldespatos brancos. Esta mole de granito aparece separada do granito dos montes do Oeste por unha faixa de lousas inxectadas de máis de 300 metros, situada no lugar do Cerezo.

O mesmo día 22 de outubro Parga realiza unha nova excursión, esta vez en solitario. Tras deixar ao seu sobriño en Ponteceso, segue o seu itinerario e pasa polo alto da Bouza, onde o terreo está constituído por migmatita, segundo el, formada pola intrusión dun magma granítico a través duns sedimentos de idade descoñecida. Dita intrusión presenta unha dirección N – 30°E, chegando o buzamento ata 45°O. Esta formación aparece atravesada por un sistema de filóns de anfibolita e granito aplítico de tamaño variable. Regresa a Ponteceso observando como a uns 400 metros do Coto cruza a estrada outro importante filón granítico.

O 28 de outubro prosegue cos estudos de campo. Nesta ocasión ten a intención de comprobar observacións feitas anteriormente. Partindo de Laxe, percorre a Cruz do Cabalo, Augarrei, Lourido, Carrabete e A Romea, regresando a continuación ao lugar de orixe. As anotacións comezan cunha referencia aos lamprófiro de Frexufre, explicando que este sistema cruza de lado a lado o istmo da insua de Laxe, a enseada da ría e reaparece en Frexubre, continuando cara ao interior. Subindo pola estrada desde o Cabo da Area, no quilómetro 20,7, crúzase co primeiro filón, dunha potencia de catro

²⁸ O granito de Fontefría é descrito como aplítico e forma un dique de trinta metros ou máis, presentando a mesma dirección que as lousas e aplitos mencionadas.

²⁹ Entre eles cita un de anfibolitas, que se pode ver «por la carretera de Lestemoño» e un granítico-aplítico, que viu antes de chegar a Carballido e duns cinco metros de extensión.

ou cinco metros³⁰. Máis adiante, antes da Ponte de Frexufre, no quilómetro 20,4, unha curva da estrada corta un segundo filón en tres puntos. Continuando atopa outros dous pequenos filóns e un terceiro, máis importante, no quilómetro 20, todos eles moi alterados, constituíndo unha rocha branda, amarelenta e de aspecto uniforme. Seguindo a excursión, diríxese cara a Augarrei, e no seu camiño atopa un novo filón con dirección N – 85°O. No camiño desde Augarrei a Lourido todo é granito, segundo Parga, coa excepción de zonas de milonitización e unha estreita faixa de lousa no norte de Lourido. Tras atravesar esta faixa e saíndo ao camiño de baixada de Portela, atopa o filón de lamprófiro que observara o día 12 de outubro de 1949. O xeoquímico dubida se se trata dun só filón ou de varios, ou se é un cono volcánico con varias saídas. Seguindo co camiño, ao chegar á Romea atopa un último filón, duns catro ou cinco metros e cunha dirección aparente E-O. Continuando coa ordenación cronolóxica dos percorridos xeolóxicos realizados por Parga atopamos uns apuntes coa data de novembro de 1949, que constitúen unha detallada descrición xeolóxica do Monte Insua³¹.

Ao mes seguinte Isidro elabora un corte xeolóxico que resume os datos dalgunhas das excursións que fixera en outubro. Nel explica a estrutura xeolóxico-tectónica do granito gnéisico milonítico de Laxe e dos gneises migmatíticos de Borneiro. O corte comprende dende o illote Alain ata máis aló de Castro Borneiro, incluíndo diversas localidades intermedias, como Soesto, Serantes, Lourido, ou Borneiro. No diagrama Parga representa en diferentes cores o granito, os sedimentos, os sedimentos calcarios transformados en anfibolitas, os aplitos e as pegmatitas, e con liñas negras paralelas os planos de resbalamento con milonitización, que se aproximan na dirección O-E, ata chegar ao límite micromilonítico na aresta de Monte Castelo.

Tan só dous documentos máis presentan data do ano 1949. O primeiro é un novo corte xeolóxico, esta vez dende a igrexa de Nande ata o ponte do porto, cuns 600 metros de lonxitude total, no que representa a sucesión de granitos, lousas, pegmatitas, cuarzos e lamprófiro xa explicados nas notas escritas. Tan só se recollen dous comentarios. No caso das lousas, o xeoquímico indica que están moi inxectadas, polo que en realidade se poderían definir como migmatitas. No caso do lamprófiro, anota que o seu filón é perpendicular ao corte representado. O último documento do ano 1949 é un plano en planta do sistema filoniano dos lamprófiro de Laxe. Este sistema, que como vimos foi estudado por Parga nas excursións, está representado con detalle, sinalándose os ángulos de buzamento dos filóns e a súa orientación, resaltándose aqueles que foran fotografados. Este plano tamén contén numerosos nomes de diversos puntos de localización.

Isidro non reinicia estes estudos ata outubro de 1950. Este tempo tan só aparece interrompido por unha excursión xeolóxica, que tivo lugar na mañá do 1 de maio de 1950³². Nese data partiu da estrada que une A Torre e Coéns, e foi cara a Matio, atopando granito en primeiro lugar. Logo, ao chegar á Cruz

³⁰ Son referencias quilométricas sinaladas por Parga, que loxicamente poden non corresponder ás das vías actuais.

³¹ Isidro explica que está constituído por un granito gnéisico de dúas micas, milonitizado por planos de deslizamento bastante frecuentes. O conxunto ten unha orientación media N-45°E e un buzamento 30°NO. A zona nordeste do monte aparece intensamente inxectada por numerosos filóns de pegmatitas concordantes co granito, de tamaño variable. Tamén está cruzado por grandes pegmatitas de bordes difusos e moi ramificadas, aínda que con tendencia a seguir a dirección de gneisificación ou milonitización, xa que ambas son case iguais, segundo o xeoquímico. Esta milonitización ten un carácter rexional, abarcando o macizo desde a punta Nariga e Barizo ata poñerse en contacto co granito de Traba. Ao internarse no macizo granítico cara ao Noroeste, e xa na Barda, os planos de deslizamento milonítico distan entre si máis de trinta metros, orixinando zonas nas que o granito ten un aspecto macizo-granudo, analógicamente ao sucedido na Insua.

³² É probable que este tempo sen facer itinerarios xeolóxicos fora debido á actividade empresarial, xa que, como vemos, empregou un día festivo para esta saída.

do Furco, punto máis alto ao pasar de Soesto a Nande, acha lousas, que chegan a ter, segundo Parga, máis de cen metros de ancho. Máis adiante se encontra de novo co granito, atravesado de pegmatitas de grandes elementos e mica negra. Estas pegmatitas, de aspecto diferente ás da Ínsua e das do Cabo da Area ao non formar filóns rectos, semellan, explica Isidro, formadas no seno do granito, cando este aínda estaba en fase fluída ou pastosa. Continúa entre Matío e Cuíña, atopando un filón de lamprófiro, posto de manifesto no solo en forma de rocha alterada de cor avermellada. Parga estima que este filón, duns catro metros de ancho, é unha prolongación dos lamprófiros de Coéns. O regreso da excursión faina polo mesmo camiño, observando a gran miscibilidade do granito coas pegmatitas e con algún filón de cuarzo.

O 6 de outubro retoma as investigacións de campo cunha certa constancia. Ese día a súa intención é a de precisar o lugar de contacto do granito coas lousas na zona de Barizo. Tras deixar o coche entre os quilómetros catro e cinco da estrada entre Malpica e Ponteceso, no lugar de Porto do Fondo, estuda e recolle mostras das lousas diadistíticas da zona, que levan unha dirección N-15°E. Dirixíndose cara a Barizo vai ascendendo, e observa como toda a faldra Leste é de lousas, distinguindo só un filón de aplito. Ao chegar ao cumio atopa un dique de granito duns vinte metros, e logo varios diques consecutivos de diferentes rochas: lousa, logo granito aplítico, lousa de novo (coa mesma dirección que a sinalada), pegmatita e outro filón de granito aplítico. Máis adiante, no centro do lugar de Barizo, lousas atravesadas por varios filóns dese mesmo granito. No descenso, feito polo lado do mar, tan só atopa lousas, nalgúns lugares moi inxectadas. Á altura da igrexa da localidade, observa que ten lugar o contacto, aparecendo o granito gnéisico. Ao oeste desta igrexa, «polo camiño alto do monte cara o mar», ao ir descendendo, descobre seis filóns dunha rocha moi descomposta que cortan o granito. Estes filóns levan unha dirección N-95°E, case paralelos aos lamprófiros de Laxe.

Ao aproximarse á praia de Ceiruga, o investigador estuda con máis detalle o granito gnéisico, que describe como moi análogo ao de Laxe e do que recolle unha mostra para a súa colección. Esta mesma rocha a observa unha vez cruzada a praia, na costa oeste do monte Ínsua. Ascendendo por este monte descobre que o seu lado este está formado por unha facies pegmatítica glandular de feldespatos, cunha orientación N 15°E e cruzado por zonas aplíticas pizarrosas. Tras baixar á praia de Ceiruga observa como desde o seu lado oeste distínguese o contacto do granito co gneis pizarroso glandular, que leva unha dirección N-15°E. Neste lugar pode verse, segundo Parga, como alternan as pegmatitas turmaliníferas coas aplitos. No centro do areal atopa un afloramento de lousas, definidas como diadistitas, coa mesma orientación mencionada, e que continúan polo lado este da praia atravesadas por filóns de cuarzo.

O percorrido continúa entre a praia e Beo, estudando os diques granítico-aplíticos que aparecen metidos no mar e que se intercalan con lousas. Estas últimas aparecen dobradas, sinal, segundo Isidro, da forte tensión á que se viron sometidas. A continuación o investigador abandona a costa cara ao lugar de Beo, atopando gneis inxectados moi metamorfizados. A excursión remata nesta localidade, desde onde foi a Malpica, onde comeu ese día.

O día 9 do mesmo mes viaxa a Corme coa intención de recoller areas negras da praia da Arnela. O xeoquímico describe estes sedimentos como moi finos e regulares, nos que abundan grans de cuarzo e que probablemente leven ilmenita e monacita. Unha mostra destas areas foi remitida a Josefina Pérez Mateos, para que lle realizara unha análise mineralóxica completa. Ao día seguinte continúa os seus estudos, visitando as praias de Balarés e de Osmo, sedimentos que novamente remite a Pérez Mateos, para completar esta investigación³³. Desta data tamén son dous pequenos mapas xeolóxicos, que

³³ Un traballo conxunto con esta investigadora publicouse no ano 1952, baixo o título “Estudio de los minerales accesorios de las rocas alteradas” (1952). Os dous investigadores seguiron as súas colaboracións en máis traballos, como as dúas partes de “Los arenales costeros de Galicia” I (1954) y II (1956) e “Les côtes sablonneuses de la Galice (1957)”. Estas publicacións constitúen unha continuación dos estudos iniciados por Parga na Universidade, onde xa estudara areas de varias praias

representan e aclaran algunhas das observacións feitas por Parga. Nun representa os filóns graníticos existentes entre o Coto de Cospindo e Ponteceso, e no outro as dúas intrusións de lousa que dan lugar ás dúas praias de Balarés, que aínda que aparecen moi metamorfixados na praia, se prolongan bastante cara ao interior.

Os días non laborais eran empregados polo investigador laxense para descansar das súas ocupacións empresariais e dedicar máis tempo aos traballos xeolóxicos, proba de que representaban para el unha auténtica paixón. Desta forma, o 12 de outubro de 1950 realiza diferentes excursións xeolóxicas, facendo numerosas anotacións relativas. Ese día comeza camiñando desde Coéns ata Portela. Inicia o itinerario a uns 200 metros máis abaixo do poste quilométrico número tres da estrada que une Coéns con Fornelos, observando o contacto do granito coa lousa que ten lugar nesta zona. Dende alí segue cara ao nordés, sobre lousa, ata avanzar uns 400 metros. Entón cambia de rumbo e vai ao noroeste, e ao pouco tempo entra na zona de granito. Continuando ao norte atópase na cota 303 da Serra de Lourido, en cuxa parte sur atopa un filón de lamprófiro moi descomposto e, ao seu lado, cara ao norte, dous importantes filóns de cuarzo paralelos, coa dirección N-100°E e unhas potencias de un a dous metros³⁴. Seguindo polo cumio da Serra de Lourido, cara ao norte, recolle unha mostra de granito gnéisico na cota 306. Nos pasos entre as cotas 300, 306 e 313 atopa numerosas pedras de cuarzo, coas mesmas características que as descritas anteriormente. Este feito o leva a pensar que os fondos que atopa nesa cotas son consecuencia de fallas con filóns de cuarzo. Ascendendo á cota 313 advirte como nese lugar o granito está moito máis gneisificado, consecuencia de ter sufrido tensións tanxenciais, dando lugar a unha estrutura definida como micromilonítica. Tras recoller unha mostra desta rocha avanza cara ao leste descubrindo as lousas, que en Portela se poñen de novo en contacto co granito. No paso da Portela tamén atopa unha zona de pegmatitas e filóns de cuarzo cunha dirección N-100°E (cara a Piñeiro). Segundo o xeoquímico, esta rexión debe coincidir cunha importante falla, pois o granito nesa rexión está moi alterado e caolinizado. O regreso o fai por Serantes, pasando polos afloramentos de lamprófiro do sueste de Lourido e do nordés da Romea.

Na tarde dese mesmo día o seu itinerario comeza no extremo norte da praia de Traba, onde descobre unha furna que forma unha pequena enseada, da que saen polo menos tres filóns de lamprófiro³⁵, continuando o seu percorrido cara ao sur. Ao atoparse a uns cen metros de distancia dos anteriores diques, atopa dous novos filóns de lamprófiro. Estes distínguense do granito pola súa cor negra e unha maior resistencia á erosión mariña. A alteración mariña á que se viron afectados deulles un aspecto lousento, que xa observara nos lamprófiros de Barizo. Porén en Boaña, lugar onde Parga se atopa, a alteración dos lamprófiros é característica, segundo el, ao ter lugar en capas concéntricas, que da lugar a grandes bolas que se desprenden do filón. Este semella unha rocha basáltica negra, con fenocristais brechoides e no que hai anacos de granito incluídos. Polas peculiaridades desta rocha recolle unha mostra para estudala con máis detalle³⁶. Aquí da por rematada a excursión, por estar anoitecendo. Mais

“Sobre la presencia de ilmenita en las áreas de Galicia” (1927), “Sobre la presencia de magnetita y de la ilmenita en las arenas de las playas gallegas” (1930), “Arena monacítica de la Ría de Arosa” (1935) e “Sobre las arenas monacíticas de las costas gallegas” (1935). Josefina Pérez Mateos (Ciudad Rodrigo, 1905-??) fora alumna de Martín Cardoso na Universidade de Madrid, onde estudara Farmacia. Da man de Cardoso entrou no ano 1934 como socia numeraria da Real Sociedade Española de Historia Natural. Dez anos despois leu a súa tese de doutoramento e en 1946 obtivo unha praza no CSIC, onde foi unha das primeiras mulleres científicas. Neste organismo creou a Sección de Petrografía Sedimentaria, da que foi xefa ata 1975, no que se xubilou.

³⁴ Segundo Isidro se trata dun cuarzo avermellado e mate, con algún cristal prismático.

³⁵ Estes filóns, segundo el, distan entre si uns corenta metros, teñen unha potencia de dous metros e levan unha dirección N-100°E, común a todos os lamprófiros da zona.

³⁶ As notas deste día continúan cunha breve descrición do granito deste lugar, sinalando que petrograficamente se trata dunha diorita producida pola dixestión do granito polo magma

o xeoquímico indica a súa intención de regresar para estudar con máis detalle esta rexión, deixando de manifesto que un día enteiro dedicado aos estudos xeolóxicos facíasele curto³⁷.

A mañá do 7 de novembro continúa na Serra de Borneiro. Comeza ás 12 horas, no quilómetro 58 da estrada que une Baio e A Coruña, preto do lugar do Pombal, na zona de Allo. Ao lado norte observa os gneises glandulares típicos, que denomina gneises glandulares de Borneiro e que levan unha dirección N-15°E. Nese lugar afloran grandes bloques redondeados, de aspecto granítico pola súa erosión e con disxunción paralelepípedica³⁸. Continúa o percorrido polo camiño de Allo a Fornelos, cunha subida formada polo gneis glandular, coas diáclases na mesma orientación e ben marcadas. Ascende a un pico, non sinalado no mapa segundo o investigador, localizado nas coordenadas 43°10' N e 5°15'40" O, constituído polo mesmo tipo de rocha e coas diáclases na mesma orientación. Unha vez situado na Serra de Borneiro, sinala que esta leva unha dirección N-15°E, mais as súas rochas constituíntes teñen a N-35°O. As diáclases da Serra levan a orientación N-100°E e están bastante separadas, quedando zonas de dous a cinco metros da rocha sen cuartear. Continúa cara ao Norte, atopando un gneis de aspecto diferente, de gran moito máis fino e máis feldespático, do que recolle unha mostra. O aspecto da mesma lle recorda á felsita de Saimia, ao non vérselle o cuarzo e por semellar estar formada por un feldespato avermellado con algunha biotita cloritizada. Máis adiante o gneis volve a ser máis glandular, observando algún filón de aplito e filonciños feldespáticos. Nese lugar recolle varias mostras, algunhas pertencentes a unha rocha básica, que determina como anfibolita ou lamprófiro. Segue a excursión dirixíndose cara ao camiño que une Muriño coa igrexa de Borneiro, descubrinto a presenza de importantes filóns básicos que atravesan o terreo e que cruzan a Serra de Borneiro con orientación N-100°E.

Ás 14:45 Parga se atopa no camiño mencionado, recollendo varias mostras de aplito moi fresco e algo gnéisica, que constitúe unha das rochas filonianas ácidas que inxectan o gneis. Proseguindo cara a Borneiros descobre como vai aumentando a frecuencia destes filóns, que continúan máis aló do val desa localidade. Todos estes diques levan unha dirección N-5°O ou N-10°O, na mesma dirección que o gneis, que neste lugar cambia de orientación. Desta forma chega ás 15:30 horas ao quilómetro tres da estrada, onde o recolle o coche de regreso a Laxe.

Ao día seguinte dedica toda a xornada ao estudo xeolóxico de campo. Saíndo de Arón, percorre Santa Mariña, Brañas Verdes e Brea. Trátase esta da primeira excursión da que Parga informa de que realiza fotografías, que van formar parte do extenso arquivo do LXL³⁹. Comeza no quilómetro tres que une

lamproffírico.

³⁷ Na documentación consultada existen máis apuntamentos de Isidro relativos a esta rexión. Aínda que non levan data, semellan unha continuación dos datos anteriores, pois son unha descrición do granito que forma os penedos de Traba, un granito de biotita, xa citado por Schulz en 1835. O contacto desta rocha co granito de biotita, do que se diferencia pola súa estrutura, ten lugar á altura de Mordomo, ao final da praia de Traba, continúa por Socasas, corta a estrada de Laxe a Ponte do Porto, segue a dirección NO-SE e torce ao sur. As anotacións deste día aparecen completadas cun corte xeolóxico tomado desde o quilómetro 8,2 da vía de Laxe a Ponte do Porto, no que se observa a diferenza estrutural entre ambos granitos. Este esquema foi publicado na memoria explicativa do mapa xeolóxico de Laxe elaborada por Parga xunto a López de Azcona e Martín Cardoso, (ver Figura 4 na páxina 22 en Parga *et al*, 1953).

³⁸ Estas rochas teñen grandes feldespatos glandulares brancos e rosados, biotita e bastante cuarzo. Aparecen cortadas por varias diáclases, a máis importante de orientación N-100°E.

³⁹ O feito desta toma de imaxes é consecuencia do nomeamento de Parga como colaborador rexional do IGME no ano 1951, o que representa a oficialización das tarefas que Isidro, como estamos a comprobar, xa levaba anos facendo, e que desembocarían na publicación do mapa xeolóxico de Laxe dous anos máis tarde.

Arón e Camelle, recollendo nese lugar unha mostra de granito de biotita, cun feldespato bastante branco. O seu tipo de disxunción é en bolas, que cobren todos os montes do lugar. Ás 12 h. chega a Arón, onde saca unha foto do pobo cara ao nordés, tendo de fondo o perfil dos montes de Punta Lobeira. Atravesa a praia, de arena fina de cuarzo, cunchas e sen elementos pesados, e segue cara ao nordés pola costa. O granito descuberto agora é de feldespatos rosas, observándose con claridade as diáclases, con dirección N-5°O e con converxencia cara ao Norte. Continúa avanzando e desde a Punta Ferroteira realiza outra fotografía dos montes de Lobeira, na que observa diáclases N-100°E. Máis tarde chega a Punta Lobeira, onde atopa un aplito filoniano que atravesa o granito cunha dirección N-5°O. Ao continuar co itinerario e chegar a Punta Gentín observa outra veta aplítica análoga, que de novo atravesa unha gran mole de granito, esta vez en dirección N-45°O. Esta última veta, duns vinte cinco centímetros de ancho, ten os seus bordes ben soldados co granito, recollendo unha mostra desta rocha e fotografala. Esta última acción a repite máis adiante, sacando unha nova imaxe, desta vez do granito de Pena Gentín desde o Oeste, na que se observan as diáclases N-100°E. Ás 13:40 Parga atópase na punta de Pedra so Sal, desde onde toma novas fotos do granito do lugar e do Cabo Beo.

Subindo cara Santa Mariña descobre que todo o granito é do mesmo tipo, aparecendo alterado e diaclasado N-5°O. Desde este lugar toma novas fotografías, da parte sur da Punta Pedro da Sal e da Punta O Capelo. Ás 14:45 chega a Brañas Verdes, onde atopa uns depósitos de volframio. Na parte norte deste lugar recolle unha mostra de granito bastante alterado, con abondosas gretas enchidas de mica e cunha orientación paralela ás diáclases N-5°O. Neste lugar saca unha nova foto, coa imaxe da chaira e dos cristóns graníticos. Fai a parada da comida aquí, sendo as 16:00 horas.

Despois diríxese cara ao Sur, aos altos de Tenlo de Ferro⁴⁰, recollendo varias mostras de granito con filóns de cuarzo con orientación N-5°O e coa presenza de volframita, casiterita, piritas e calcopiritas. Segue cara á Brea e neste camiño observa numerosas diáclases e filóns, que en xeral levan esta mesma orientación. Tamén aparecen algunhas con N-100°E, sendo estas máis modernas que as anteriores. Ao chegar á Brea descobre que no seu lado oeste existen outras brañas. Nelas, ao igual que nas Brañas Verdes, atópase volframio, explotado en ámbolos lugares a partir do lavado das terras⁴¹. Continúa cara ao Sueste, rematando a excursión nas proximidades de Ponte do Porto.

Non comeza novas excursións ata pasado máis dun mes, cando o 12 de decembro de 1950 estuda a praia de Soesto e as súas proximidades. Saíndo da súa casa de Laxe vai cara a ese areal, seguindo a dirección do lamprófito de Fenlido. Unha vez no norte da praia observa o granito, cunha fractura con orientación N-100°E. Descobre un importante filón de pegmatita aplítica, con algo de turmalina, cunha dirección N-30°E e cun buzamento 55° cara ao NO, concordante coa dirección do granito⁴². Seguindo a

⁴⁰ Non puidemos comprobar a existencia desta localización.

⁴¹ Un concentrado dos aluviós de Brañas Verdes foi analizado quimicamente por Parga no verán de 1951, estudo levado a cabo no laboratorio de Kaolines. Partindo de 8,47 gramos dunha mostra recollida no lugar, separou 2,37 gramos de area moi rica en monacita e circón. A este concentrado someteuno a un ataque con ácido sulfúrico, que dissolveu a monacita e precipitou os oxalatos, dos que obtivo 0,89 gramos. A partir destes números deduciu a composición aproximada seguinte: 80% de volframita, 10% de monacita, 7% de circón e 3% doutros elementos. Isidro tamén indica que para un análise máis exacto habería que separar electromagneticamente a volframita, para logo atacar o residuo con ácido sulfúrico, para separar a monacita do circón. Trátase este dun novo traballo xeoquímico, similar aos que facía durante os seus primeiros anos na Universidade. *ALXL Caderno de Campo de Laxe, zona A4*.

⁴² O xeoquímico continúa explicando que o extremo sur da praia de Soesto está formado por granito gnéisico, atravesado por numerosos filonciños de pegmatita. Neste lugar comenta que o granito vai perdendo o carácter milonítico, aumentando o seu aspecto fluidal. Na rocha observa numerosas veñas difusas de turmalina, que seguen unha dirección N-30°E. A area da praia é descrita como formada toda de cunchas con algo de cuarzo, na que non existen elementos negros pesados. Desde o extremo sur da

costa pola Punta do Catasol atopa unha gran greta, formada por unha falla, que se atopa enchida cunha intrusión de cuarzo e con salbandas de lousa glandular. A súa dirección é N-87°E, a súa potencia duns 80 centímetros e a lonxitude duns 20 metros. Máis adiante, cando xa ve a praia de Traba, acha un gran filón de cuarzo, moi triturado por numerosas gretas, cunha dirección N-50°E, unha potencia de dous metros e un buzamento N-85°, case vertical. Continuando cara ao sur chega á praia de Arnado, cuxa orixe podería estar nunha falla ou nun lampróforo, de cuxos restos non puido atopar nada. O itinerario dese día remata un pouco máis adiante, ao chegar aos lampróforos de Arnado.

De novo existe un longo período sen constancia de novas excursións, que se reinician o 4 de xullo de 1951 e o estudo se levou a cabo en Borneiros⁴³, na zona na que contacta o gneis de dúas micas co gneis de biotita migmatítico. Tan só se recolle este dato nun mapa xeolóxico elaborado por Parga, estando escrita na zona estudada a data e o nome dos participantes: Parga e Eugenio Torre Enciso, na primeira anotación na que aparece este último. Ponse así de manifesto que a súa colaboración comezou polo menos dous anos antes da súa primeira publicación conxunta, "Sobre una relación entre los tipos de disyunción de los granitos gallegos y su historia geológica-tectónica" (1953), e tres anos antes de ver a luz o seu primeiro mapa xeolóxico conxunto, pertencente á zona de Oya (1954). A data de inicio da colaboración Parga-Torre coincide cun ano no que Isidro continuaba a traballar con Martín Cardoso. As colaboracións co primeiro estaban centradas nas investigacións sobre os granitos, mentres que as do segundo tiñan como obxectivo a elaboración do cartografado xeolóxico.

Os seguintes apuntamentos corresponden á saída do 27 de xullo, a primeira na que Parga e Cardoso traballan xunto a López de Azcona, comezando de forma oficial os itinerarios dedicados á elaboración dos mapas xeolóxicos de Galicia. As notas conservadas no Arquivo do LXL deste itinerario son dúas follas, unha escrita por Parga e outra por Cardoso, sendo probable que as de López de Azcona, de existir, foran remitidas ao IGME. O percorrido dos tres investigadores comeza na Eirita, dende onde foron cara a Esmorís. A uns 200 metros ao oeste deste último lugar atopan un dique de cuarzo, con rumbo N-20°E e uns dous metros de potencia, que separa o gneis glandular doutro, descrito como moi feldespático e avermellado. Ao chegar a Esmorís descubren que a localidade está edificada sobre un dique feldespático⁴⁴. Continúan cara ao Oeste, sobre gneises glandulares, e a unha altura de 175 metros entre Esmorís e Muriño, observan cara ao leste un dique que resalta entre os gneises, pola súa difícil erosión. Este filón esténdese dende Esmorís ata Anos, ao Sur, e probablemente sexa unha continuación da leptinita felsítica. Os investigadores seguen cara ao Oeste, pasando a cima do Monte Borneiro e chegan á igrexa da localidade, cruzando varios filóns de anfíbolitas. Os apuntamentos de Cardoso deste mesmo día sinalan como, tras comer en Eirita, atopan un novo dique de cuarzo, cun rumbo N-15°E, dun seis ou oito metros. Seguindo cara a Esmorís, atopan un filón de gneis moi fino e duro, escuro, de biotita do que recollen unha mostra. Avanzan ata a igrexa de Borneiro, seguindo un terreo sobre o gneis típico do lugar. Ao aproximarse ao templo descubren como esta rocha está atravesada por varios filóns de anfíbolita concordante.

praia realiza un novo debuxo, coa vista cara ao nordeste, representando os principais substratos xeolóxicos e diversos puntos xeográficos.

⁴³ Nos anos 1951 e 1952 as excursións xeolóxicas foron realizadas principalmente durante o verán. Estas saídas ao campo eran compaxinadas cos traballos nas diferentes empresas nas que Parga dirixía (o caso de Kaolines de Lage) ou coas que colaboraba (Titania). Á súa vez, realizaba outras investigacións, como son as colaboracións con Martín Cardoso "La pegmatita litinífera de Lalín (provincia de Pontevedra, España)" (1948), "Quimismo de algunos granitos de Pontevedra" (1950), "Un yacimiento de columbita en Boiro (Coruña)" (1951), "Kotschubeíta de la Sierra de la Capelada, Cabo Ortegal, Galicia (España)" (1951) ou "Estudio de la diáspora con corindón y andalucita de Goyán (provincia de Pontevedra)" (1952).

⁴⁴ Segundo os autores, probablemente sexa leptinita felsítica, formando un dique análogo ao de Saimia, do que pode ser continuación, e do que recollen unha mostra.

O mineraloxista madrileño continúa a ser o autor das notas tomadas durante a saída do día seguinte. Os apuntamentos de Cardoso ofrecen unha maior concreción nos datos que os de Isidro, o que se entende por ter uns maiores coñecementos mineralóxicos. Nesta ocasión Parga, Cardoso e López de Azcona parten das canteiras do Porto, continuando polo cemiterio, a enseada da Baleeira e continúan pola costa. Na zona do Porto observan granito fresco de dúas micas con segregacións pegmatíticas turmaliníferas. Presenta dúas diáclases, unha en dirección N-S con buzamento 45° E e outra E-O con buzamento case vertical. Ao chegar a Morelo toman unha fotografía das rochas bañadas polo mar e observan varios lamprófiros E-O, uns nesa localidade e outros en fronte da mesma, na costa de Arnado. Proseguen o itinerario ata a praia de Traba e de alí cara a Boaña, continuando polo mesmo tipo de granito. Máis adiante acadan Cuiña, atopando nas súas proximidades segregacións pegmatíticas con láminas grandes das dúas micas e turmalina, regresando a continuación á vila natal de Parga.

Ata aquí chegan as anotacións de campo que se conservan relativas ao traballo de cartografado xeolóxico de Laxe, que culminaron coa publicación no ano 1953 do mapa xeolóxico da rexión e a súa correspondente memoria explicativa. Mais nos mapas das diferentes cuadrículas citadas, elaborados por Parga e que acompañan aos apuntamentos resumidos arriba, recóllense datos de excursións posteriores, se ben na maioría dos casos tan só son citas coa data do itinerario e, de existir, o nome dos acompañantes de Isidro neses paseos. Desta forma, o 21 de agosto de 1952, máis dun ano despois da última excursión realizada polas proximidades de Laxe xunto a Cardoso e López de Azcona, Isidro en solitario visita a Punta do Roncudo. Marca esa data no mapa e xunto a ela unha breve descrición da xeoloxía do lugar: granito anatexítico con pegmatitas e milonitas. O 25 de xaneiro de 1953, xunto a Torre, visita de novo as proximidades de Fornelos, estudando o límite entre o gneis de dúas micas e o granito de dúas micas anatexítico. A compañía do científico do científico coruñés repítese en dúas excursións máis nese ano: o 19 de abril visitan o Monte Lagoa e o 2 de maio estudan a praia de Traba, no que representa a última excursión por Laxe dos dous científicos da que temos constancia.

O día 18 de xullo de 1953 Parga realiza un estudo de campo en solitario, no que semella unha continuación das anteriores excursións feitas con Torre Enciso. Nesta ocasión fai o recorrido entre o Monte Lourido e o Pedroso, durante o cal observa a alternancia dos granitos e os gneises. Nas referencias das excursións do ano 1953 polos arredores de Laxe ponse de manifesto outra interesante colaboración de Parga. Referímonos ao paleontólogo extremeño Vicente Sos Baynat⁴⁵, que se atopaba en Galicia por requirimento de José Fernández López, para estudar xeoloxicamente diversas rexións do país⁴⁶. Xunto a Sos, Parga realiza unha excursión ata a Serra de Borneiro o día 1 de agosto, realizando unha interpretación estrutural da mesma. O día 30 do mesmo mes fan unha nova investigación de campo, esta vez no extremo sueste da folla xeolóxica de Laxe⁴⁷.

⁴⁵ Vicent Sos Baynat (Castellón de la Plana, 1895-1992). Paleontólogo e xeólogo. Tras estudar Ciencias Naturais na Universidade de Madrid, ingresa por oposición no ano 1925 no Museo Nacional de Ciencias Naturais. En 1934 gaña a cátedra de Historia Natural do Instituto de Castellón. Inhabilitado para a docencia polo réxime franquista, desde 1950 traballa en Estremadura para José Fernández López, primeiro localizando os xacementos de casiterita e volframita e despois como director das explotacións mineiras resultantes. Á vez realiza diversas investigacións xeolóxicas de Castellón. Desde 1955 foi colaborador oficial do IGME, mantendo contacto, entre outros, con López de Azcona. É probable que Parga coñecese a Sos no curso 1929/30, no que o galego estivera facendo en Madrid os cursos prácticos de Química-Física, Electroquímica e Electroanálise impartidos pola JAE. Posteriormente coincidiu con el en varias excursións feitas polos arredores de Madrid no ano 1934, de onde seguramente lle viña a súa amizade.

⁴⁶ A súa visita repetiuse nos anos 1955, 1963 e 1964. Estudou diversas rexións galegas, facendo informes de minerais e rochas para Fernández López (correo electrónico de Alejandro Sos Paradinas, fillo de Vicente Sos Baynat, o 25/6/ 2011).

⁴⁷ Resultado da pasar o verán en Galicia, Vicente Sos publicou no ano 1953 os artigos “Noticia sobre un

Parga en solitario vai realizar novas rutas pola zona, habendo constancia dos días 3 de outubro de 1953, 20 de xuño de 1954 e 31 de xullo de 1955. As outras tres excursións feitas ata o ano 1956 foron en compañía. Na primeira delas, o 6 de agosto de 1955 foi xunto ao enxeñeiro de minas José Enrique Azcárate Martín⁴⁸. Nas dúas restantes, do 9 de agosto de 1955 e do 16 de agosto de 1956, Isidro foi co seu fillo José Ramón Parga Peinador, no que seguramente representa o inicio das traballos de investigación do descendente do xeoquímico⁴⁹.

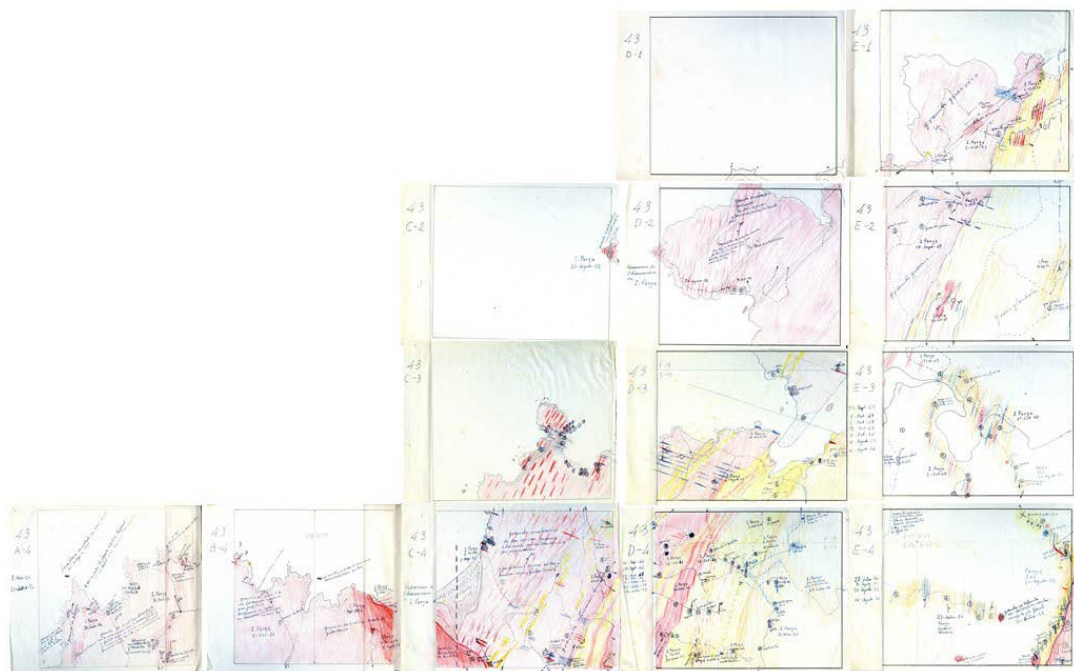


Figura 3. Resume de todos os itinerarios (imaxes ampliadas nos Anexos)

Ao ler este resume e ordenación dos traballos de campo levados a cabo para a realización do mapa xeolóxico de Laxe é doado comprender o detalle da investigación realizada por Isidro Parga, en grande parte debido ás diverxencias atopadas cos traballos dos anteriores investigadores que percorreran a rexión, o que obrigou ao xeólogo, practicamente en solitario na maior partes das veces, a percorrer detidamente toda a folla de Laxe. A intensidade do traballo feito queda ilustrados nas seguintes imaxes

Laboratorio de Geología de Galicia” e “El mapa en relieve de Galicia del Dr. Parga Pondal”, ambos relacionados coa actividade investigadora de Parga e publicados no *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*.

⁴⁸ Doutor enxeñeiro de minas, foi director do IGME entre 1983 e 1985 e autor de artigos como “Las aguas en el futuro del Instituto Geológico y Minero de España” (1984) ou o libro “Introducción a la metodología de investigación minera (1982).

⁴⁹ José Ramón Parga Peinador (Santiago, 1936-San Ciprián, 1978). Enxeñeiro técnico en explotación de minas e licenciado en Ciencias Xeolóxicas. Profesor axudante de clases prácticas do departamento de petroloxía na universidade de Oviedo (1968). Na de Salamanca foi profesor encargado do curso de Cartografía e Fotoxeoloxía (1969-1971). Coordinador de traballos do LXL. Foi conselleiro delegado en distintas empresas ligadas ás actividades do seu pai: Refractarios Sant-Yago S.A, Cementos del NO. S.A., Cementos Cosmos S.A., Cuarzos Industriales S.A. e Dunitas Industriales S.A. Director xerente de Prebentong-Lugo no momento do seu falecemento.

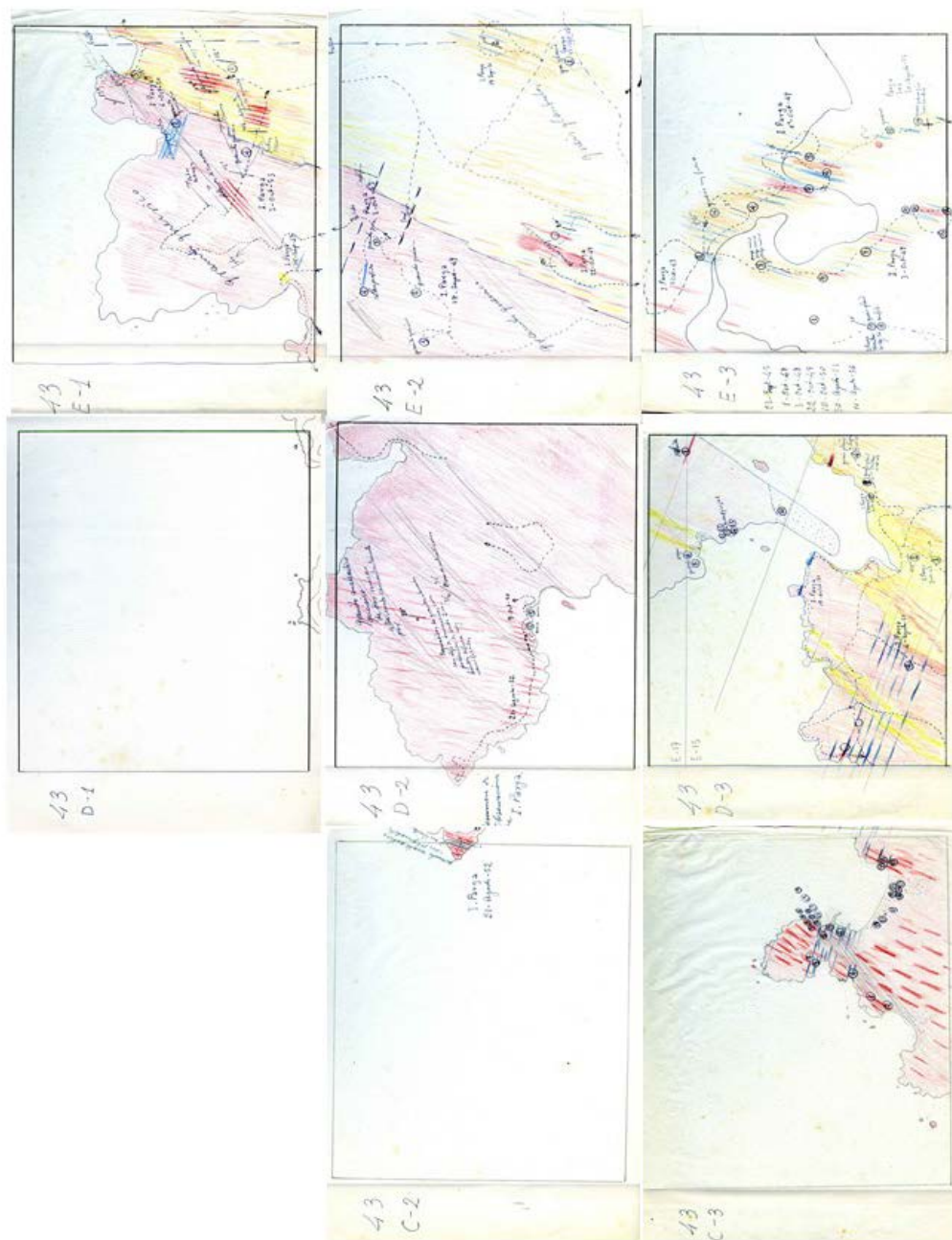
que se resumen na Figura 3. A primeira un dos mapas empregados e completados coa información e apuntamentos de Parga. A segunda unha montaxe das diferentes follas completadas para a elaboración da cartografía xeolóxica de Laxe, ordenadas por Parga de Oeste a Este empregando orde alfabético e orde numérico de Norte a Sur.

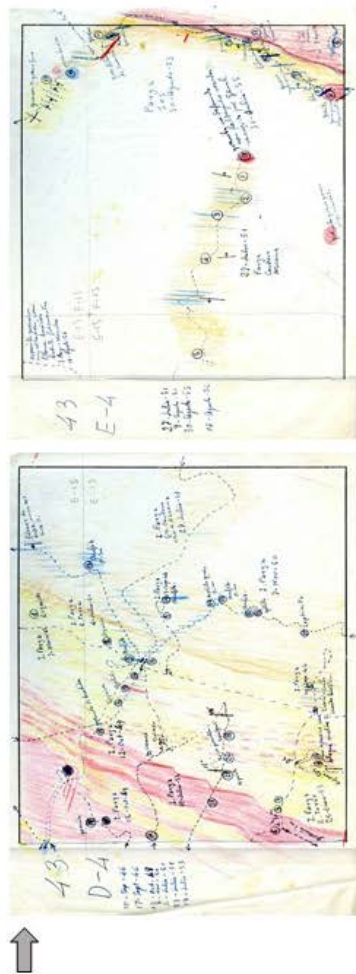
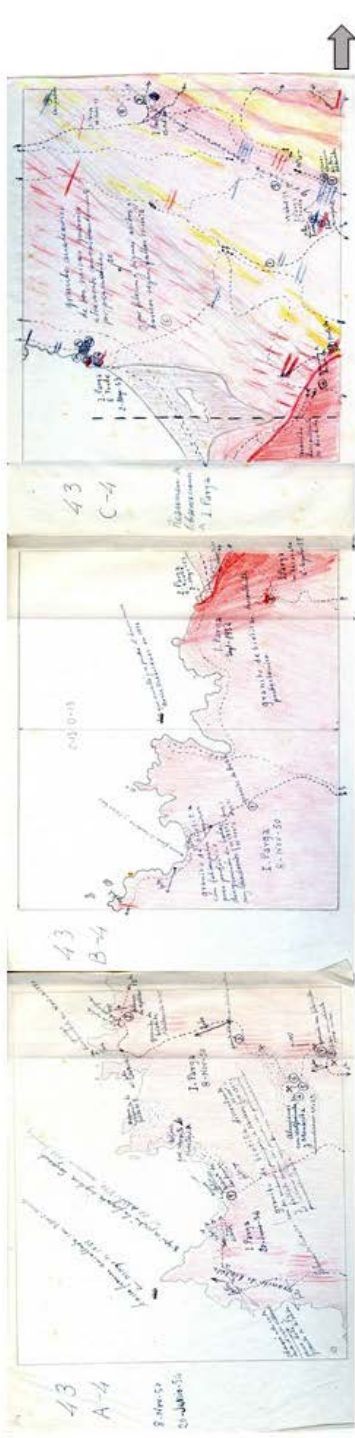
Este comezo na actualización dos mapas xeolóxicos de Galicia foi a base doutros traballos nos anos seguintes, feitos a escalas 1:50.000 y 1:200.000, e orixe do éxito posterior do Laboratorio de Laxe (LXL) no mundo xeolóxico a nivel mundial (Vidal, 2009: 75). Á súa vez, fixo consciente a Isidro da complexidade do estudo da xeoloxía galega, a necesidade dunha investigación profunda da mesma e a existencia de varias limitacións existentes que era necesario emendar: o preciso que era comprobar sobre o campo as contradicións existentes na información xeolóxica de anteriores investigadores, a importancia da realización de estudos petrográficos precisos e o pouco estudada que estaba a tectónica e a historia xeolóxica de Galicia, limitacións superadas en parte en anos posteriores, coa realización dun mapa xeolóxico máis completo e actual, tal como Parga fixo en anos vindeiros desde o LXL.

3. REFERENCIAS

- GURRIARÁN, R. (2014): “Galicia ten un referente: Isidro Parga Pondal”. Ed. Pío García - Foro Peinador. 169 páxs..
- IGME (1981): Memoria explicativa del “Mapa Geológico de Lage E 1: 50.000”. Segunda serie, 1ª ed. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía. 36 páxs.
- LEONARDO, F. (2017): “O labor de cartografado xeolóxico de Isidro Parga Pondal”. *Boletín das Ciencias, Enciga*. Nº 83, pp. 83-93.
- LEONARDO, F. (2013): “Isidro Parga Pondal, Doutor en Cencias. Itinerario investigador”. Directores: R. Gurriarán Rodríguez e J. R. Vidal Romaní. Universidade de Santiago de Compostela, Depto de Física Aplicada.
- PARGA PONDAL *et al*: (1934-1956): *Documentacion mapa xeoloxico de Laxe*. Arquivo do Laboratorio Xeolóxico de Laxe.
- PARGA PONDAL, I. e PEREZ MATEOS, J. (1952): “Estudio de los minerales accesorios de las rocas alteradas”. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 27, paxs. 121-149.
- PARGA PONDAL, I. e PEREZ MATEOS, J. (1954): “Los Arenales costeros de Galicia. I. La Ria de Lage”. *Anales de Edafología y Fisiología Vegetal*, t. XIII, no6, paxs. 483-513.
- PARGA PONDAL, I., LÓPEZ DE AZCONA, J. M. e MARTÍN CARDOSO, G. (1953): “Laxe (A Coruña): mapa geológico de España. Escala 1:50.000. Explicación da folla no 43”. 61 paxs.
- PARGA PONDAL, I. (1962 a): “Xeoloxía”. En *Historia de Galiza*. Ed. Nós. Vol. 1. Páxs. 225-245.
- SCHULZ, GUILLERMO (1992): Cuaderno de Campo, editado por Juan Ramón Vidal Romaní. Edicións do Castro-Sada. Dous vol.
- VIDAL ROMANI, J. R. (2009): “El Laboratorio Geologico de Lage”, en *Tierra y tecnología* no 35, paxs. 73-80.

ANEXOS





PROBAS DA CHEGADA DO ANTROPOCENO

ARMESTO, CONSTANTINO

GONZÁLEZ CRESPO, SARA

IES Illa de Tambo, Marín

1. INTRODUCCIÓN

A consecuencia das actividades humanas o noso planeta está a cambiar a pasos xigantescos, e poucos decátanse diso. Os humanos malamente poderemos atopar solucións se antes non entendemos os problemas: e a crise ambiental é un grave problema que nos afecta a todos, chamémonos coruñeses, galegos, españois ou europeos. Este artigo quere contribuír á divulgación deste novo coñecemento científico, debido á súa importancia para o futuro da civilización.



Paul Crutzen e Eugene Stoermer acuñaron o termo Antropoceno no ano 2000 para denotar o intervalo de tempo presente, no que moitos dos procesos xeolóxicos están profundamente alterados polas actividades humanas (Cearreta, 2018; Foley, 2010). No ano 2016, o grupo de traballo do Antropoceno (38 especialistas coordinados por Jan Zalasiewicz), da Subcomisión de Estratigrafía do Cuaternario, órgano integrante da Comisión Internacional de Estratigrafía, organización científica englobada na Unión Internacional de Ciencias Xeolóxicas, decidiu que hai probas suficientes para concluír que se acabou o Holoceno, e que estamos no Antropoceno, unha nova época xeolóxica da Terra (Waters et al, 2016), dentro do período Cuaternario, era Cenozoica, eón Fanerozoico.



Calquera recoñecemento formal do Antropoceno como unha época xeolóxica depende de se os seres humanos cambiaron o planeta, o suficiente como para producir un rexistro estratigráfico nos sedimentos e no xeo, distinto do Holoceno. A continuación revísanse os cambios antrópicos e os seus marcadores, noutras palabras, as probas globais e persistentes que a actividade humana está a deixar na Terra.

2. PROBAS BIOLÓXICAS

Antes de expoñer cifras vamos poñer nome a unha das posibles vítimas da extinción. Cada ano, preto de cen mil pangolíns -o mamífero que máis se comercializa de forma ilegal no mundo- son capturados e enviados a China e Vietnam, porque alí considéranos un exquisito manxar; aínda por riba, usan as súas escamas porque os supersticiosos cren que teñen propiedades medicinais máxicas. Resultado: as oito especies de pangolíns están ao bordo da extinción (Gibbs, 2002).

Para confirmar que a biota da Terra está a entrar nunha sexta extinción masiva un equipo de científicos encabezado por Gerardo Ceballos

(Ceballos et al, 2015) propúxose demostrar que as taxas actuais de extinción superan amplamente as taxas de fondo que prevalecen en ausencia de extincións. Centráronse nos vertebrados porque contan con máis datos; utilizaron como estimación da taxa de fondo de extinción (número de especies extintas cada dez mil especies e cada cen anos) o dobre das estimacións anteriores, e comparárona coa taxa actual de extinción de vertebrados. Mesmo baixo supostos que tenderían a minimizar a extinción, a taxa media de perda de especies de vertebrados durante o século pasado centuplica a taxa de fondo. Baixo este suposto, as especies que se extinguiron no século pasado tardarían, dependendo do taxón, entre oitocentos e dez mil anos en desaparecer, se o ritmo fose normal. Estas estimacións revelan unha perda excepcionalmente rápida de biodiversidade durante os últimos séculos, o que indica que unha



sexta extinción masiva está en marcha. En concreto, os investigadores atoparon que, desde o ano 1500, hai probas da desaparición de trescentas trinta e oito especies de vertebrados e outras duasetas setenta e nove xa só se poden atopar nos zooloxos ou, ante a falta de avistamentos, posiblemente extinguíronse; en total, seiscentas dezasete especies de vertebrados desapareceron da natureza; a maioría, no último século.

Un equipo de científicos encabezado por Anthony D. Barnosky fai as seguintes consideracións (Barnosky et al, 2011): Os paleontólogos caracterizan as extincións biolóxicas masivas como os momentos en que a Terra perde máis de tres cuartas partes das súas especies nun intervalo xeoloxicamente curto: ocorreu só cinco veces nos últimos cincocentos corenta millóns de anos. Dos catro mil millóns de especies que se estima evolucionaron na Terra, ao redor do noventa e nove por cento extinguíronse: isto demostra que as extincións son moi comúns; pero, normalmente, a taxa de extincións está equilibrada pola taxa de especiacións; o equilibrio oscila, de tal maneira que, en varias ocasións na historia da vida, as taxas de extinción aparecen algo elevadas, pero só cinco poden cualificarse de extinción masiva. A intensidade de cada extinción masiva por encima do nivel de fondo varía, pero todas teñen taxas de extinción superiores a calquera outro intervalo xeolóxico desde fai cincocentos corenta millóns de anos, e mostran unha perda de máis das tres cuartas partes das especies. Despois de cuantificar as perdas de especies durante os últimos séculos, os biólogos suxiren que, agora, unha sexta extinción masiva pode estar en marcha. Os autores tratan de avaliar a intensidade da crise en curso, establecendo unha cota para recoñecer a perda de biodiversidade

característica das cinco extincións masivas anteriores. Conclúen: os nosos resultados confirman que as taxas de extinción actuais superan o que se esperaríase dos rexistros fósiles; se as ameazas actuais non cesan a Terra podería alcanzar a cota extrema dentro de poucos séculos.

O equipo de expertos que encabeza Rodolfo Dirzo chega a conclusións similares: os impactos humanos sobre a biodiversidade animal son unha forma pouco recoñecida de cambio ambiental (Dirzo et al, 2014); vivimos no medio dunha onda global de perda de biodiversidade causada por actividades humanas. Trescentas vinte e dúas especies de vertebrados terrestres extinguíronse desde o ano 1500, e as poboacións das especies restantes diminuíron un vinte cinco por cento, en media. As pautas dos invertebrados son igualmente terribles: dous terzos das poboacións estudadas diminuíron un corenta e cinco por cento, de media. Moito se descoñece sobre esta perda de fauna, con todo, pode asegurarse que é un compoñente da sexta extinción masiva.

Un equipo de científicos, encabezado por William J. Ripple, fixo un chamamento para salvar a megafauna (Ripple et al, 2016). Estes son, resumidos, os seus argumentos: o cincuenta e nove por cento dos carnívoros máis grandes (vinte e sete especies pasan de quince quilos) e o sesenta por cento dos herbívoros máis voluminosos (setenta e catro exceden os cen quilos) están ameazados de extinción; animais tan emblemáticos como os gorilas, rinocerontes e grandes felinos incluíronse na Lista Vermella. As actividades humanas, a deforestación, a agricultura e gandería son responsables. Segundo a Organización das Nacións Unidas para a Agricultura e a Alimentación, en 2014, hai ao redor de tres mil novecentos millóns de exemplares de ruminantes domésticos na Terra; compárese a cifra cos oito millóns e medio de individuos de cincuenta e unha especies silvestres dos grandes herbívoros. A caza tamén é responsable: mátese megafauna pola carne ou por partes do corpo para a medicina tradicional e adornos, ou por ameazas reais ou ficticias: elefantes polo seu marfil, rinocerontes polos seus cornos e tigres por partes do corpo. Os zoológos xa escribiron o obituario do rinoceronte negro occidental de África e pronto serán necesarios os epitafios para o rinoceronte branco do norte, o rinoceronte de Sumatra e o rinoceronte de Xava; o camelo Bactriano, o kouprey (*Bos sauveli*) e o asno salvaxe africano están en perigo crítico.

Un último artigo, encabezado por Jonathan L. Payne, predí nos océanos o que xa sucede nas terras emerxidas (Payne et al, 2016). Para dispoñer de datos máis fiables, analiza unicamente os moluscos e vertebrados mariños. Conclúe: sen un cambio na xestión, os océanos soportarán unha extinción de intensidade –só de moluscos e vertebrados extinguíranse entre vinte e corenta por cento dos xéneros– suficiente como para clasificarse entre as seis maiores dos últimos cincocentos corenta millóns de anos.

En resumo, a Lista Vermella da Unión para a Conservación da Natureza (IUCN) contén vinte e catro mil trescentas sete especies ameazadas de extinción no ano 2016: catro de cada dez especies de anfibios, unha de cada catro especies de mamíferos, e unha de cada oito especies de aves están ameazadas. Catalogáronse un millón novecentas mil especies e menos do dous por cento están en risco de extinción. Temos que preocuparnos? Mirando estas cifras, un estaría tentado de dicir que non: sería un erro. As causas destas extincións pretéritas varían, pero teñen en común que causan cambios rápidos no hábitat; e iso é xustamente o tipo de cousas que os humanos estamos a provocar na actualidade. A velocidade deses cambios pon os pelos de punta, pois é máis rápida que calquera cousa que vísemos, excepto o asteroide que borrou aos dinosauros. De manter o ritmo actual seríamos testemuñas, dentro dunhas décadas ou moi poucos séculos, dunha extinción similar á dos dinosauros. Esta, e afirmacións similares, non as fai un ecoloxista; poden lerse, como debe comprobar o escéptico lector, en *Science* e *Nature*, as revistas científicas máis prestixiosas do mundo.

3. PROBAS XEOLÓXICAS

A humanidade cambiou a paisaxe, o solo, a atmosfera, o océano e a biosfera. Agora ben, podemos cualificar o cambio de xeolóxico (Zalasiewicz, 2016)? A humanidade pode causar unha mutación tan radical como as transformacións acontecidas ao comezo do Holoceno? Poderán equipararse os efectos

da actividade humana, que teñen só séculos de antigüidade, coas grandes metamorfoses xeolóxicas que poden durar millóns de anos? Existen datos xeolóxicos suficientes para definir unha nova época – Antropoceno- que siga ao Holoceno? Para comparar os labores humanos coa creación e destrución de montañas, coa formación de vales ou cos impactos dos meteoritos, os xeólogos necesitan determinar se a transformación é tan profunda como para que as súas pegadas queden gravadas nos estratos, deben demostrar que a nosa actividade deixará pegadas no planeta, como sucede cos fósiles; rastros que poderán ser distinguidos con facilidade no futuro afastado -como os ósos dos dinosauros-.

3.1. Probas xeolóxicas: tecnofósiles

A transformación de máis da metade da superficie terrestre para uso humano xerou materiais modificados que se estenden por todo o orbe. Xa coñecemos a suma da produción material de todas as actividades humanas contemporáneas: a cantidade de tecnosfera rolda os 30 billóns de toneladas, o que significa que hai ao redor de 50 quilos de material humano por cada metro cadrado do planeta (Zalasiewicz et al, 2017). A rápida transformación de parte da superficie terrestre en tecnosfera subliña a novidade da actual transformación planetaria; a tecnosfera inclúe unha gran diversidade de obxectos que constitúen unha capa de residuos en rápido crecemento e son potenciais fósiles (tecnofósiles). Todos os materiais artificiais, desde edificios a ferramentas, vehículos, avións, teléfonos móbiles, computadores, moedas ou bolígrafos algún día quedarán sepultados no solo, como un estrato máis. Analogamente aos fósiles biolóxicos, estes materiais sintéticos, chamados tecnofósiles, preservaranse en estratos que serán futuros depósitos xeolóxicos. Os recentes xacementos antrópicos -minería, vertedoiros e urbanización- acompañados de novas rochas supoñen a maior achega de novos minerais á superficie do planeta desde que o osíxeno pasou a ser un compoñente maioritario da atmosfera, hai dous mil catrocentos millóns de anos. Durante milenios, fabricamos materiais descoñecidos na Terra, cerámicas, vidros, ladrillos e aliaxes, os restos destes materiais están presentes como un sinal xeolóxico persistente. O aluminio elemental era case descoñecido antes do século XIX, con todo, desde a segunda guerra mundial obtivemos medio billón de quilogramos de aluminio puro, metal que pasará a formar parte das capas sedimentarias contemporáneas. No que ao ferro se refire, consumíronse 60 billóns de quilogramos de mineral de ferro desde a segunda guerra mundial; e só no ano 2010 a produción anual alcanzou 1800 millóns de toneladas. Por todas partes atópanse rochas fabricadas polos humanos; o formigón, inventado polos romanos e amplamente difundido en contornas urbanas, non só ten a primacía, senón que xa é a rocha característica do Antropoceno; e, desde a metade do século XX, converteuse no material de construción principal: os humanos fabricamos medio billón de toneladas coas cales poderíamos colocar un quilo de formigón en cada metro cadrado da superficie terrestre, a metade só nos dous últimos decenios.

3.2. Probas xeolóxicas: mares sucios e plásticos



O océano considerouse un pozo sen fondo capaz de cargar con todos os refugalloos da humanidade, todo canto lixo lle chega desde terra polos ríos e glaciares o incorpora aos sedimentos ou á auga. No Ártico ruso arrozáronse residuos radioactivos, máis dun millón de toneladas de residuos vértense cada ano no Mediterráneo; verteduras de hidrocarburos no Atlántico debido ás refinerías, á limpeza dos petroleiros e ás mareas negras. Un millón catrocentos mil quilómetros cadrados, case tres veces a superficie de España, ocupa a Gran illa de lixo no Pacífico, unha zona superficial do océano cuberta con cen millóns de toneladas de

refugallos humanos. Este vertedoiro oceánico, formado no século pasado, ten unha concentración excepcionalmente alta de plásticos suspendidos na auga. Como algúns refugallos plásticos flotantes se converten, por foto-degradación, en anacos cada vez máis pequenos, e concéntranse na parte superior do océano ata que se desintegran; ao alcanzar tan pequeno tamaño son comidos polos organismos mariños e, polo tanto, entran na cadea alimenticia: acháronse nos estómagos de tartarugas e albatros. As medusas comen as partículas de plástico porque se asemellan ao zooplankton; os peixes comen ás medusas; nós comemos aos peixes, polo que, inevitablemente, inxeriremos tamén os plásticos. Antes da Segunda Guerra Mundial a produción mundial de plásticos reducíase a uns poucos produtos como a bakelita ou o raión; despois, a produción disparouse ata alcanzar a increíble cifra de 300 millóns de toneladas anuais, unha cantidade semellante á masa de toda a humanidade. A resistencia á desintegración química dos plásticos suxírenos que perdurarán o suficiente na cortiza terrestre como para deixar rexistros fósiles; pero se os refugallos de plástico deixan pegada no solo –as montañas de plástico se observan en moitos lugares–, déixana maior no océano, pois boa parte do plástico inxerido polas criaturas mariñas termina no barro do fondo oceánico cando os animais morren, primeiro paso cara á súa fosilización.

3.3. Probas xeolóxicas: deforestación, erosión e desertificación

Aínda que sabemos que nos últimos tres séculos aumentou a deforestación, tamén sabemos que non se trata dun fenómeno novo, pois se facía desde a antigüidade; deforestación que se produciu no hemisferio norte durante os séculos XVIII e XIX, e comezou a realizarse tamén no hemisferio sur



ao longo do século XX. As tallas e queimas arrasan os bosques e selvas da Terra: a industria madeireira, a agricultura, a gandería, a minería ou o crecemento urbano aprópiáanse do solo que outrora pertencía ás árbores. Os expertos da FAO (VV.AA., 2015a) diagnostican que os bosques do mundo diminúen a medida que a poboación humana aumenta e as áreas forestais reconvértense en terreos agrícolas, pasteiros ou se urbanizan. Os datos demostrano: mentres que no ano 1990 os bosques cubrían o 31,6% das zonas terrestres -4128 millóns de hectáreas-, en 2015 pasouse ao 30,6% -3999 millóns de hectáreas-, unha superficie case equivalente á de Sudáfrica. Que decreza a superficie boscosa mundial global non significa que mingüe en todas as rexións do planeta; nunhas aumenta e noutras diminúe: lamentablemente o decrecemento dunhas supera o crecemento das outras. Europa, na actualidade, atópase entre as afortunadas: a superficie forestal do noso país aumentou considerablemente; concretamente, no ano 2015 ten un terzo máis de bosques que un século atrás. Non sucede o mesmo en África e América do Sur, rexións que, durante o quinquenio 2010-2015, experimentaron a perda anual de bosques máis elevada. Sen a protección da cuberta arbórea, os solos dos bosques húmidos sécanse, erosionan e degradan a terra erma: sen árbores, as selvas convértense rapidamente en áridos desertos.

Máis da metade de Tunes está cuberta polo deserto. No Sahel aumentaron as zonas desérticas entre cincuenta e cen quilómetros cara ao norte e algo menos cara ao sur. O 93% do bosque tropical de Madagascar, o país máis erosionado do mundo, e dous terzos da súa selva chuviosa foron tallados. A degradación do solo afecta o 90% da Patagonia arxentina. Máis das dúas terceiras partes da superficie de España - presenta o maior índice de desertificación da Unión Europea- áchanse exposta á desertificación. A desertificación ameaza á cuarta parte do planeta, segundo os expertos do Programa das Nacións Unidas para o Medio Ambiente (PNUMA). Por desertificación (ou desertización se non hai intervención humana) enténdese o proceso polo que un territorio, que non ten o clima dos desertos, acaba adquirindo as características deles; non se refire tanto á expansión dos desertos existentes, como á degradación das terras áridas e semiáridas. Máis que culpabilizar ás secas, cabe responsabilizar ás actividades humanas -a deforestación, o cultivo intensivo e o pastoreo excesivo- como principais axentes da desertificación.



A maior parte dos solos atópase en condición mala ou moi mala, segundo a conclusión do informe que elaborou o grupo técnico intergubernamental sobre os solos da FAO ((VV.AA., 2015b). En particular, a terceira parte atópase moderada ou altamente degradada. A erosión -de 25000 millóns a 40000 millóns de toneladas de solo- cada ano é o efecto máis visible da degradación do solo. Só as perdas anuais na produción mundial de cereais debido á erosión calcúlanse en 7,6 millóns de toneladas. O crecemento demográfico e económico ameazan a saúde do solo por tres razóns. Primeira: máis da terceira parte da superficie terrestre libre de xeo do planeta destinouse á agricultura e os solos, despois de vexetación, sofren fortes aumentos de erosión. Segunda: a urbanización contaminou os solos con exceso de sal, acidez e metais pesados, compactounos con maquinaria pesada, e selounos baixo asfalto e cemento. Terceira: o cambio climático contribúe pois ás temperaturas máis altas e o aumento dos fenómenos meteorolóxicos extremos - inundacións e secas-, diminúe a cantidade e fertilidade dos solos.

A intervención antrópica nos procesos sedimentarios é indubidable. Os fluxos de sedimentos nos ríos aumentaron debido á maior deforestación, pastoreo e cantidade de solos cultivados: os humanos contemporáneos xa transportamos máis sedimentos que os ríos e o vento xuntos. A queima e talla de bosques para dedicalos á agricultura, que comezou na primeira metade do Holoceno, especialmente nos bosques tépedos, deixou rastros xeolóxicos: restos de plantas e animais, carbón e depósitos de sedimentos procedentes da erosión do solo; e hai que engadir a intensa erosión que está a ocorrer agora nas rexións tropicais.

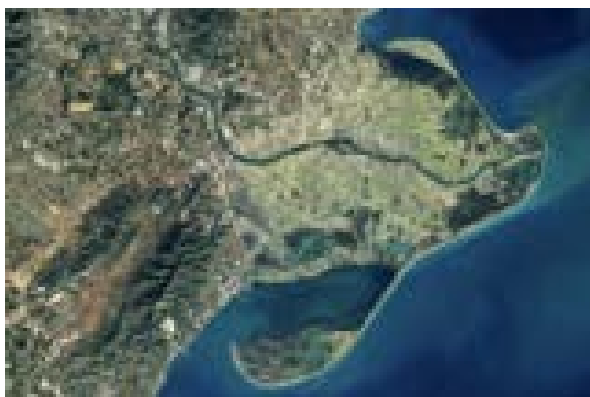
3.4. Probas xeolóxicas: afundimento dos deltas

En moitos grandes ríos os materiais finos deposítanse na desembocadura, e forman extensos e fértiles deltas, por onde a auga alcanza o mar. En 2009, os científicos demostraron que vinte e catro deltas, entre os que se atopan o delta do Nilo, Ródano e Yangtzé, dos trinta e tres estudados, sufriron inundacións: os deltas están a afundirse (Syvitski et al, 2009). Ao delta do Danubio chega, no século

XXI, a terceira parte do sedimento que chegaba ao principio do século XX. Antes da construción da presa de Assuan (ano 1965), a cantidade de sedimentos que chegaba ao delta do Nilo alcanzaba os 55 millóns de toneladas anuais, actualmente apenas chega sedimento algún. Setenta ou oitenta quilómetros cadrados das marismas do Mississippi desvanécense cada ano. O delta do Mekong enfrontase a unha perda catastrófica de terras cultivables debido á elevación do nivel do mar. Os deltas do Rin, Ródano, Po e Ebro perden terreo; en resumo, a maioría dos principais deltas do mundo están en perigo de desaparición. As causas? Os fluxos sedimentarios antrópicos intensificáronse, os encoros reteñen os sedimentos que non chegan á desembocadura dos ríos e, en consecuencia, os deltas afúndense. Ademais, se o nivel do mar sobe como consecuencia do quecemento global, que lle sucederá ás numerosas cidades costeiras?, e aos cultivos? Os problemas das cidades edificadas sobre deltas, Alexandría, Amsterdam, Róterdam, Xangai, Marsella ou Nova Orleans non fixeron máis que empezar. A retención de sedimentos detrás dos grandes encoros construídos nos principais ríos do mundo, abrupta nunha escala de tempo xeolóxica, amplificará o afundimento dos deltas e constitúe unha nova pegada global. Consideremos que a maioría das grandes presas construíronse no últimos sesenta anos, e que cada unha interromperá o transporte de sedimentos ao océano de medio século a dous séculos. A diminución ou desaparición de grandes deltas, un proceso que comezou no século XX, ten como consecuencia inevitable a retirada da costa: outra pegada xeolóxica máis.

3.5. Probas xeolóxicas: icnofósiles

A alteración do planeta tamén chegou ao mundo subterráneo, pois se perfora a cortiza terrestre para extraer minerais, almacenar refugallo ou aloxar servizos públicos. A humanidade produce unha enorme cantidade de icnofósiles, termo que usan os paleontólogos para referirse ás marcas deixadas polos seres vivos, como as pegadas fósiles que deixaron os dinosauros ou os buracos dos vermes mariños pretéritos. Desde o ano 2008 a metade da poboación humana é urbana; as cidades, que invadiron a superficie terrestre, teñen un dobre nos seus cimentos, tubaxes e transportes



subterráneos que deixarán un rastro perenne na superficie do planeta. As minas e perforacións tamén deixarán unha cicatriz permanente na paisaxe. A extracción de minerais, por si soa, explica o desprazamento anual de 57 billóns de quilogramos de sedimentos, cifra que triplica a cantidade de sedimentos que transportan os ríos. Lembramos as inabarcables áreas bituminosas de Athabasca (Canadá) que, baixo cento corenta e un mil quilómetros cadrados de pantanos de turba, ocupan a mesma superficie que Galicia, Asturias, Cantabria e Castela-León unidas. E aínda non chegamos ás canteiras, como as de granito en Porriño ou de lousa en Valdeorras; esquecemos que cada galego, como bo europeo, consome unha media anual de entre cinco e dez toneladas de produtos minerais, exceptuados os enerxéticos. Certo, as canteiras adoitan ser explotacións de pequeno tamaño, pero o conxunto representa o maior volume da minería mundial. Non nos esquecemos dos máis de corenta mil campos petrolíferos que existen tanto na terra como no mar; pozos de varios quilómetros de profundidade -entre un e seis- que permiten extraer petróleo.

4. PROBAS QUÍMICAS

Aínda que sabemos que a humanidade alterou a composición da atmosfera, océanos e solos, preguntámonos se o cambio foi tan grande como para deixar evidencias que poidan detectarse no futuro. O desenvolvemento tecnolóxico da humanidade durante o século XX non pode compararse con ningún período histórico anterior; no século pasado sintetizamos unha enorme cantidade e variedade

de compostos químicos; tan só na Unión Europea, comercialízanse máis de cen mil substancias e, continuamente, sintetízanse novas; desgraciadamente non se valorou o risco para a saúde humana e ambiental de máis do noventa por cento delas. Só no último medio século o número de humanos duplicouse, o consumo mundial de alimentos e auga doce triplicouse, o de combustibles fósiles multiplicouse por catro. Os humanos gastamos agora entre a terceira parte e a metade de toda a enerxía producida no planeta pola fotosíntese. O crecemento desaforado xeneralizou a contaminación; custa crer que a especie humana descargou sobre a Terra unha onda de substancias químicas sintéticas de dimensións xeolóxicas; con todo, case ningunha existía antes da segunda guerra mundial.

4.1. Probas químicas: compostos orgánicos permanentes (COPs), praguicidas, metais pesados, aerosois, ozono e compostos orgánicos volátiles (COV)

Os compostos orgánicos permanentes (COPs) son substancias sintéticas, que permanecen longo tempo no ambiente por ser resistentes á degradación; son bioacumulables, aumentando a súa concentración nos seres vivos ao longo da cadea trófica; e son tóxicos, xa que poden causar cancro e defectos conxénitos; a iso súmase a súa capacidade para ser transportados a longas distancias. No ano 2001 os químicos identificaran doce (bifenilos policlorados, DDT, dioxinas e outros nove compostos organoclorados). O número aumentou, no ano 2015, incluíronse outros compostos organoclorados, organobromados e organofluorados. Desgraciadamente, aínda quedan candidatos para esta relación como os hidrocarburos aromáticos policíclicos, ftalatos e alquilfenóis. Os xeoquímicos comprobaron que algúns xa forman parte dos sedimentos; en resumo, que os COPs deixarán pegadas químicas no noso planeta (Zalasiewicz, 2016).

O uso de calquera produto químico sempre presenta beneficios e prexuízos, sinalémolos para que o lector poida xulgar. Os praguicidas aforran diñeiro aos agricultores; sabemos que en ausencia de praguicidas perderíase (a causa preferentemente dos insectos) o dez por cento das colleitas. A Asociación Médica dos Estados Unidos apunta os posibles perigos para a saúde humana: “Existe incerteza acerca dos efectos da exposición prolongada de doses baixas de praguicidas... Tendo en conta esta falta de datos, é prudente... limitar a exposición a praguicidas... e usar os praguicidas químicos menos tóxicos ou recorrer a alternativas non químicas.” Os praguicidas danan o solo, contaminan a auga e reducen a biodiversidade: non pode estrañarnos, porque o noventa e oito por cento dos insecticidas e o noventa e cinco por cento dos herbicidas chegan a un destino diferente do buscado. Son tan perniciosos? Dos primeiros doce COPs máis perigosos, nove son praguicidas.

Os metais industriais como o cadmio, mercurio e chumbo dispersáronse amplamente polo planeta desde mediados do século XX. Son tóxicos, non se degradan, contaminan o solo, a auga e o aire, perduran no ambiente durante séculos e acumúlanse nos vexetais e animais: o seu perigo é máximo. Un deles válenos como exemplo. A fundición de chumbo durante a época romana deixou un tenue sinal químico da presenza do metal na cortiza terrestre; que se fixo moi marcada en todo o mundo, desde principios do século XX, como resultado do uso da gasolina con chumbo nos vehículos. O chumbo dana o cerebro, os riles e o sistema reprodutor humano. Rick Nevin (ano 2000), achou que se deben ao chumbo entre o sesenta e cinco e o noventa por cento dos crimes violentos en Estados Unidos; tamén demostrou que este metal, nos nenos e adolescentes, se correlaciona cun baixo coeficiente intelectual e un carácter agresivo e antisocial con tendencias criminais. Os xeólogos do futuro acharán que a cantidade de chumbo no ambiente aumentou máis de



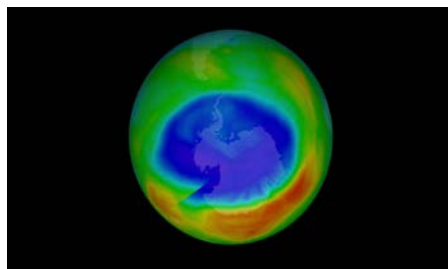
mil veces durante os tres últimos séculos, e o maior aumento comeza entre 1945 e 1950.

Faga o lector unha inspiración, xa? Acaba de inhalar partículas sólidas e pingas líquidas, estas partículas de materia (PM2.5 ou PM10, o número refírese ao tamaño) coñécense como aerosois, e áchanse na atmosfera, onde permanecen suspendidos entre catro días e unha semana, tempo durante o que



poden viaxar miles de quilómetros; habitualmente aludimos a eles como fume, cinzas e feluxe, con todo, a súa composición química inclúe os sulfatos, nitratos, po mineral, sal mariño, compostos orgánicos e carbono. O noventa por cento dos aerosois atmosféricos ten unha orixe natural: os volcáns expulsan cinzas, o vento e as ondas arrojan sal mariño cara ao aire, as tormentas de area lanzan o po mineral dos desertos á atmosfera. As actividades humanas -a queima de combustibles (a maior fonte), a deforestación, o pastoreo excesivo e a utilización indebida de terras xeran o dez por cento dos aerosois atmosféricos restantes. A pesar do seu pequeno tamaño, varían desde uns poucos nanómetros a varias decenas de micrómetros, os aerosois afectan ao clima. Non toda a radiación solar que chega á atmosfera alcanza a superficie: os aerosois -e as nubes formadas debido a eles- reflicten a cuarta parte. O aire contaminado contén máis partículas que o aire prístino, máis núcleos de condensación, máis pingas de auga e máis pequenas, o que significa nubes máis brillantes e maior reflexión de luz; en resumo, os aerosois provocan arrefriado. A queima de combustibles fósiles e biomasa difunde por todo o mundo, cun aumento global case sincrónico ao redor de 1950, o carbono negro (residuo da combustión incompleta), as cinzas inorgánicas e as partículas carbonosas (feluxe); tres clases de partículas -suspendidas no aire- que deixarán unha pegada química permanente, tanto nos sedimentos como no xeo dos glaciares.

Mario Molina, Frank Sherwood Rowland e Paul J. Crutzen recibiron o Nobel de Química, en 1995, por descubrir que algunhas moléculas sintéticas, que soben á estratosfera, afectan ao equilibrio do ozono; efectivamente, os clorofluorocarbonados (CFCs) e os óxidos de nitróxeno destrúen o ozono máis rapidamente do que se rexenera. Nas rexións tépedas, a cantidade de ozono oscila entre trescentas e catrocentas setenta e cinco unidades Dobson ao longo do ano; na Antártida, cando o buraco na capa de ozono é máximo, soamente mídense cen. O oitenta e cinco por cento da destrución débese a substancias producidas por actividades humanas. Prestóuselle bastante menos atención ao ozono troposférico, daniño para a saúde humana e para a vexetación, e un dos principais compoñentes da prexudicial brétema marrón (smog) das cidades. Observado por vez primeira a mediados do século pasado, o ozono troposférico procede de fontes naturais, aínda que as fontes antrópicas multiplicaron a súa concentración decenas de veces. O ozono xérase a partir de precursores; como os óxidos de nitróxeno e os compostos orgánicos volátiles (COV), un conxunto de varios centenaes de produtos que a actividade humana, sobre todo desde a metade do século pasado, emite á atmosfera; como o benceno, tolueno, xileno, formaldehído ou percloroetileno; COV que, ademais de precursores do ozono troposférico, destrúen o ozono estratosférico.



4.2. Probas químicas: ciclo do nitróxeno e ciclo do fósforo

O abono sintético, alicerce da revolución verde, permitiu aos agricultores transformar terreos estériles en cultivables e repetir colleitas na mesma terra sen esperar a que se produza a rexeneración natural dos nutrientes. En consecuencia, a poboación mundial cuadruplicouse desde o invento. Pagamos un alto prezo polos beneficios: a maior parte do nitróxeno que producimos –deliberadamente para abonar a terra e, en menor contía, como residuo dos combustibles fósiles–, non vai parar aos alimentos, espállase cara á atmosfera, ríos e océanos, onde se transforma de benfeitor en contaminante: os científicos atribúen ao nitróxeno as nocivas floracións de algas, as zonas mortas en augas costeiras e o exceso de ozono troposférico.

Antes de que a humanidade explotase a técnica de fixación do nitróxeno atmosférico, a cantidade de nitróxeno fixado naturalmente polas bacterias, compensábase coa actividade doutras, que devolvía o nitróxeno ao seu estado gaseoso. Bastou un século para alterar este equilibrio: no século



XXI as actividades humanas xeran o dobre de nitróxeno ao ano que a suma de todas as fontes naturais. Para nosa desgraza o problema de nitróxeno é máis insalvable que o problema do carbono; pois, como alimentamos a sete mil millóns de persoas sen abonos sintéticos? A pesar de todo, podemos facelo mellor; en EE. UU. aprovéitase só a décima parte do abono aplicado cada ano na agricultura; o resto acaba na contorna.

A actividade humana ocasionou o maior impacto no ciclo do nitróxeno dos últimos dous mil cincocentos millóns de anos; en particular, o proceso que transforma o nitróxeno atmosférico en nitróxeno mineral, acompañado do aumento dos óxidos de nitróxeno procedentes da combustión dos combustibles fósiles, aumentou a cantidade de nitróxeno, respecto ao nivel do Holoceno, nun cento vinte por cento, desde o ano 1913. A humanidade empezou a cultivar plantas fai uns dez mil anos; pero só desde hai un século os agricultores botaron nos seus sementados enormes cantidades de abonos con nitróxeno extraído do aire. Abonos que chegan aos ríos, e destes aos lagos ou ao mar, onde estimulan a produción de plancto; desgraciadamente, cando tales proliferacións biolóxicas morren e descomponse a súa biomasa, fórmanse zonas mortas que sufocan a vida no fondo mariño ou lacustre. Os fósiles que conteñan os futuros estratos contarannos a historia dunha bioloxía devastada: a agricultura deixará un rastro duradeiro.

Praias repletas de algas: os biólogos coñecen o fenómeno, trátase da eutrofización, unha proliferación masiva de algas, en mares, lagos e ríos. As augas perden transparencia e adquiren a característica cor verde; os peixes foxen da zona, e morren os organismos que viven fixos sobre o fondo, debido a que a descomposición das algas mortas consome o osíxeno disolto na auga; en consecuencia, empobrécese a biodiversidade, aínda que aumenta a biomasa do ecosistema. O fenómeno débese a unha sobrecarga de nutrientes: de nitróxeno e fósforo. No ano 2008, algo máis da metade dos lagos asiáticos e europeos, case a metade dos lagos americanos e un pouco máis da cuarta parte dos lagos africanos tiñan exceso

de nutrientes nas súas augas. Coñecemos a causa, a contaminación antrópica: agropecuaria (con fertilizantes e excrementos animais), forestal (por abandono de residuos), atmosférica (por óxidos de nitróxeno producidos pola queima de combustibles fósiles), e a ocasionada polos efluentes urbanos e industriais.

O nitróxeno (e o fósforo) áchase ora no solo, ora nas rocas, ora na auga ou no aire (o fósforo non), talvez forme parte da biosfera; en resumo, experimenta un movemento, un ciclo bioxeoquímico que alteraron as actividades humanas. Concretamente, sabemos que o nitróxeno e o fósforo do solo duplicáronse no último século, como proban os estratos dos lagos e o xeo de Groenlandia, cuxa cantidade de nitróxeno é a máis alta dos cen mil últimos anos. Outro dato máis: a produción de fósforo actual, 23500 millóns de quilogramos anuais, duplica a velocidade coa que o fósforo se liberou de forma natural durante o Holoceno. Non debe estrañarnos, polo tanto, que o Grupo Técnico Intergobernamental sobre os solos da FAO afirmase que reducir o consumo de fertilizantes con nitróxeno e fósforo constitúe unha prioridade mundial (Montanarella, Pennock, McKenzie, 2015). En resumo, existen pegadas xeoquímicas detectables nos sedimentos e no xeo dos cambios contemporáneos.

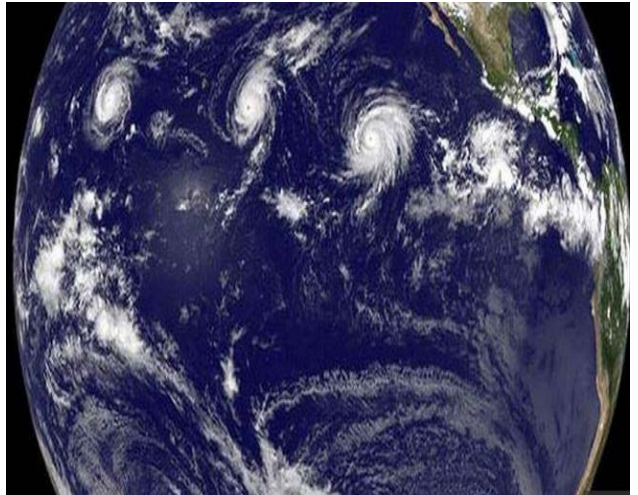
4.3. Probas químicas: desosixenación e acidificación dos océanos

Os océanos desosixénanse; sabemos que a concentración de osíxeno oceánico, vital para a vida, diminuíu un dous por cento desde os anos sesenta, e que parte da diminución parece ligada ao quecemento das augas superficiais, que mingua a súa solubilidade. Prevese que un quecemento dun grao no océano traducirase no aumento do dez por cento das augas hipósicas (prexudiciais para a maioría dos organismos) e unha triplicación do volume das augas subósicas (a maior parte da vida non pode ser sostida). O quecemento afecta tamén ao océano doutra maneira: as augas superficiais, quentes e osixenadas, mestúranse peor coas augas profundas, frías e pobres en osíxeno (debido á respiración dos organismos que viven na auga), transportando menos osíxeno ás profundidades. A desosixenación, entón, afecta á produtividade dos océanos -non podemos esquecer que a metade da produción de osíxeno débese ao plancto oceánico (Gilbert, 2017)-. Xa coñecemos varias zonas nas que o osíxeno disolto está esgotado (chámaselles concas anósicas): o mar Negro, por baixo de cincuenta metros, o mar Caspio, por baixo de cen metros, no Mediterráneo (dúas), no Báltico (dúas), no golfo de México (unha), en Venezuela (unha), en Canadá (unha); e hai indicios de que aumentou a extensión das zonas anósicas no mar Báltico e no golfo de México. Varias veces, no pasado, partes dos océanos esgotaron o osíxeno: o rexistro xeolóxico móstranolo; tamén nos informa que os sucesos anósicos coincidiron con extincións biolóxicas masivas e, quizais, contribuísen a elas.

A acidificación oceánica, nome dado ao descenso do pH da auga, aumenta a medida que se emite dióxido de carbono á atmosfera, e este disólvese nos océanos producindo ácido carbónico. Os océanos suavizan os efectos climáticos porque absorben ao redor da terceira parte do dióxido de carbono antrópico emitido; se os océanos non absorbesen trinta millóns de toneladas diarias do gas carbónico, a súa concentración atmosférica aínda sería maior; pero o sumidoiro ten un custo: reduce o quecemento global á conta de acidificar o mar. Os oceanógrafos observaron que, desde o inicio da revolución industrial, a acidez da capa superficial do océano aumentou un trinta por cento (o pH descendeu doce centésimas): a vida mariña non experimentou un cambio tan rápido en millóns de anos. E os estudos paleontolóxicos demostran a gravidade dun descenso da acidez da auga tan veloz: fai 250 millóns de anos desapareceron nove de cada dez especies mariñas. Un pH modificado dana aos organismos: os corais e moluscos, como os mexillóns e ameixas, teñen dificultades para construír a súa cuncha. A acidificación tamén obriga aos animais para investir máis enerxía no mantemento do equilibrio interno, enerxía que subtraen a outros procesos vitais, como a reprodución; por conseguinte, a acidificación pon en perigo mesmo a súa supervivencia: con só a redución do un por cento dos individuos en cada xeración extinguíríase a especie ao cabo dun século.

5. PROBAS FÍSICAS: CLIMA

Moitos cambios climáticos ocorridos desde 1950 carecen de precedentes nos últimos milenios: a atmosfera e o océano quentáronse, a cantidade de xeo diminuíu e o nivel do mar aumentou; aumentou tamén a intensidade e frecuencia dos fenómenos meteorolóxicos extremos, incluíndo a diminución de temperaturas frías extremas, a acentuación das temperaturas cálidas extremas e o crecemento do número de precipitacións intensas (IPCC, 2013). O Ártico experimentou un quecemento moi rápido. A temperatura media da superficie terrestre creceu oitenta e cinco centésimas de grao durante o período



1880 a 2012: non parece moito, con todo, cada un dos tres últimos decenios foi sucesivamente máis cálido que calquera decenio anterior desde 1850.

5.1. Probas físicas: gases de efecto invernadoiro e aerosois

A concentración de dióxido de carbono atmosférico aumentou desde un valor preindustrial de 280 ppm no ano 1750 a 400 ppm no 2015; compárese este crecemento co aumento de 20 ppm durante os oito mil anos previos á industrialización; e na última década o incremento prodúcese a razón de 1,9 ppm cada ano. O balance global cuantitativo durante o decenio 2004-2013 permítenos apreciar o tamaño (medido en xigatoneladas de carbono anuais) dos diferentes depósitos do carbono: os combustibles fósiles extraídos das reservas xeolóxicas emiten á atmosfera 8,9; os incendios de bosques e pasteiros emiten 0,9; a terra absorbe 2,9; o océano absorbe 2,6; réstanse as absorcións das emisións e resulta un crecemento do dióxido de carbono na atmosfera de 4,3. Resulta obvio sinalar que o uso de combustibles fósiles é a causa principal do aumento do dióxido de carbono atmosférico.

Aínda que o dióxido de carbono é o máis importante gas invernadoiro non debemos desdeniar os outros, pois a suma do efecto do metano, os halocarburos, os óxidos de nitróxeno e o ozono troposférico ten unha magnitude comparable. Ademais dos gases, os aerosois presentes na atmosfera tamén alteran o clima. A natureza encárgase de xerar o noventa por cento dos aerosois; a actividade humana, ao queimar combustibles fósiles ou modificar a superficie terrestre, produce o dez por cento restante. O efecto que producen é equívoco: algúns reducen o quecemento terrestre; outros, adulteran as propiedades das nubes e causan arrefriado. Ante tales ambigüidades, os expertos recoñecen que a magnitude da perturbación climática provocada polos aerosois é incerta. Outros factores que afectan ao clima, como o cambio na cuberta do solo, as erupcións volcánicas ou as fluctuacións do brillo solar ou ben inflúen menos ou non presentan patróns regulares.

Hoxe sabemos que o aumento de gases invernadoiro orixinados pola actividade humana é o principal impulsor do cambio climático; gases invernadoiro que absorben a radiación infravermella que doutra maneira escaparía da superficie terrestre ao espazo e que, por tanto, perturban o equilibrio enerxético do planeta. En consecuencia, a Terra absorbe máis radiación do Sol da que radia ao exterior: este desequilibrio enerxético quenta o planeta. Os gases de efecto invernadoiro antrópicos quantan a superficie da Terra a razón de 2,3 watts cada metro cadrado (valor medido no ano 2011); se comparamos este valor cos obtidos nos anos 1950 e 1980, respectivamente, 0,6 e 1,3, coliximos que case se cuadruplicou a cantidade de calor engadida ao globo en menos dun século.

5.2. Probas físicas: inundacións e secas, excesos de frío e de calor

A corrente de chorro do hemisferio norte aseméllase a un fluxo de aire que circunvala o planeta de oeste a leste a grandes altitudes; adoita presentar lixeiras ondulacións cara ao norte e o sur, que se parecen ao sinal sinusoidal dun osciloscopio; gran parte da meteoroloxía cotiá depende de tales curvas -coñecidas como ondas de Rossby-. En 2013 e 2014 a corrente de chorro experimentou unhas ondulacións moi acusadas e persistentes en Europa e América do Norte, que ocasionaron que o aire polar se desprazase cara ao sur. Tales contorsións provocaron intensas tormentas: Inglaterra padeceu o inverno máis húmido desde 1766; Europa continental experimentou unha calor excepcional; Noruega sufriu incendios forestais sen precedentes; choivas torrenciais alagaron case un terzo de Bosnia. Unha onda de calor e seca sucedeu en Rusia en 2010; o fenómeno provocou que as borrascas, que habitualmente levan auga aos cultivos rusos, se desprazasen a Paquistán, onde ocasionaron inundacións catastróficas; a seca supuxo o desastre natural máis mortífero da historia rusa, obrigou a recortar a exportación de trigo e elevou o prezo dos cereais.



O sistema climático non é lineal: un lixeiro quecemento pode disparar un cambio súbito cara a un réxime meteorolóxico distinto do anterior. O clima en xeral, e a corrente de chorro en particular, cruzou o limiar? Os datos meteorolóxicos resultan esclarecedores: as anomalías dobraron a súa frecuencia de 2001 a 2012 en comparación cos vinte e dous anos anteriores; na segunda década do século XXI desencadeáronse en América do Norte algúns dos desastres máis destrutivos do último século.



5.3. Probas físicas: quecemento dos océanos

As actividades humanas alteraron o equilibrio enerxético da Terra; o planeta retén calor porque envía ao espazo menos radiación hogano que outrora. E o océano acumula o noventa por cento do exceso da enerxía. Esta enerxía elevou a temperatura da auga mariña entre 1971 e 2010, sobre todo da capa superior do océano (os setecentos primeiros metros). Ten algunha importancia? Os meteorólogos saben que basta un lixeiro aumento da temperatura da superficie do océano para tornar en furacáns un gran número de tormentas tropicais.

Un estudo mostra que o quecemento das augas superficiais aumentou desde a penúltima década do século pasado, e que as correntes mariñas, responsables de repartir a calor por todo o planeta, están a frearse (Ramírez et al, 2017). Se se interrompese a circulación oceánica global, a área intertropical volveríase máis cálida e as rexións polares (e as rexións tépedas de Europa occidental) máis xélicas. Pouco máis hai que argumentar, talvez engadir que os climatólogos saben que a interrupción xa sucedeu no pasado, fai doce mil setecentos anos, concretamente.

A terceira parte da poboación mundial vive a menos de cen metros sobre o nivel do mar; resulta superfluo facer unha alegación sobre a necesidade de preservar as liñas costeiras. E o nivel do mar ascenderá se o quecemento causase a fusión do xeo atrapado nos tres grandes casquetes glaciarios do planeta -reteñen o noventa e nove por cento do xeo-, o un por cento restante concéntrase nos glaciares alpinos-. O cálculo das cantidades permítenos apreciar a súa importancia: se se fundise o xeo da

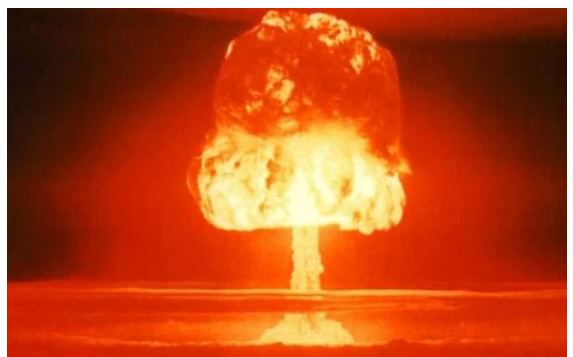
Antártida occidental, o mar subiría cinco metros e oito décimas; o desxeo de Groenlandia ocasionaría un ascenso de sete metros e tres décimas; e a fusión do casquete glaciario da Antártida oriental elevaría ata cincuenta e un metros e oito décimas o nivel dos océanos. En total, o mar ascendería sesenta e catro metros nove décimas.



Sabemos que o nivel do mar elevouse dezanove centímetros durante o período 1901-2010: non parece moito; con todo, entre finais do século XIX e principios do século XX, produciuse unha transición dunha elevación media relativamente baixa -similar á rexistrada nos últimos dous milenios- a unha máis alta. Os datos son reveladores: cada ano, o nivel medio do mar subiu 1,7 milímetros entre 1901 e 2010, 2 milímetros entre 1971 e 2010, e 3,2 milímetros entre 1993 e 2010. Coñécense os factores que contribuíron á subida do mar: 1º A auga dilátase cando se quenta; ao redor da metade do aumento do nivel do mar durante o século pasado é atribuíble a este efecto; só a dilatación térmica da auga do océano bastaría para elevalo trinta centímetros nun século. 2º Nos dous últimos decenios, o xeo de Groenlandia e da Antártida perdeu masa, o corenta e dous por cento da subida do nivel do mar débese a eles. 3º Sen embargo, o fenómeno máis evidente de desxeo para o profano, a desaparición da banquisa do Ártico, non afectará ao nivel do mar; a capa de xeo flotante ao final da época estival reduciuse á metade desde 1900 e prevese que desapareza neste século; con todo, a súa fusión non alterará o nivel do mar: ascende a auga cando o xeo continental se desprende do casquete polar e entra no mar, non cando se funden os icebergs.

6. CANDO COMEZOU O ANTROPOCENO?

A formalización é unha cuestión complexa porque a utilidade do Antropoceno excede á comunidade xeolóxica; expresa o grao en que a humanidade está a impulsar cambios rápidos e xeneralizados na Terra. Os marcadores sinalados indican que o Antropoceno é estratigraficamente distinto do Holoceno e apoian a formalización do Antropoceno como unha época cuxo límite inferior aínda non se identificou (Waters et al, 2016).



Entre as distintas propostas para marcar o inicio do Antropoceno o grupo de traballo do Antropoceno, xa mencionado, decidiu que o Antropoceno comezou no ano 1950: porque os residuos radioactivos do plutonio son a marca que determina o cambio de época; fundamentalmente, porque se trata dunha marca global e sincrónica. A detonación

atómica en 1945 iniciou unha choiva radioactiva de 1945 a 1951. As probas con armas nucleares xeran un sinal global (C-14, Pu-239 e outros radionúclidos artificiais) desde 1952 a 1980.

7. SOLUCIÓNS

Para a economía clásica o crecemento é a panacea que remedia os males económicos: pobreza, paro, superpoboación e degradación da natureza. Pero a economía é un subsistema da biosfera que é finita: entre o crecemento económico ilimitado e a biosfera limitada a contradición é flagrante (Daly, 2005). Temos que satisfacer as necesidades do presente sen comprometer a capacidade das xeracións futuras de satisfacer as súas propias necesidades; e para lograr este resultado cada xeración debe legar á súa sucesora unha riqueza igual á que ela herdase. Facer o tránsito a unha economía viable converteuse nun imperativo imprescindible para que a civilización humana perdure (MacNeill, 1989).

8. CONCLUSIÓNS

Permítasenos unha metáfora para acabar o artigo. Imaxine o lector que é un pasaxeiro do Titanic na súa trágica singradura do ano 1912. Desde o primeiro momento do accidente se decatou que o barco chocou cun iceberg. Dirixese á tripulación primeiro, aos pasaxeiros despois, para alertarlles do perigo. Nin uns nin outros negan o contratempo, aínda que, para a súa sorpresa, uns alegan a boa construción do barco para non alarmarse, outros, a pericia profesional dos navegantes para non tomar medidas de precaución. Coñecemos o dramático resultado da inacción. Os expertos detectaron que o planeta Terra tropezo cunha crise ambiental, que a maioría da poboación, cos seus dirixentes, négase a recoñecer. E non importa a cantidade dos inconmensurables logros científicos que alcanzamos os humanos, nin a valía dos nosos inventos técnicos! A traxedia xa está aquí. Imos actuar?

9. REFERENCIAS

- Barnosky, Anthony D. et al. (2011): "Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?" *Nature* 471, 51–57 (03 March).
- Cearreta, Alejandro (2018): "¿Existe el Antropoceno?", *Investigación y ciencia*, 506: 88 (noviembre).
- Ceballos, Gerardo; Ehrlich, Paul R.; Barnosky, Anthony D.; García, Andrés; Pringle, Robert M.; Palmer, Todd (2015): "Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction". *Science Advances* (19 Jun), Vol. 1, no. 5, e1400253.
- Daly, Herman (2005): "La economía en un mundo repleto". *Investigación y ciencia*, 350: 58-65 (noviembre).
- Dirzo, Rodolfo et al. (2014): "Defaunation in the Anthropocene". *Science* (25 Jul): Vol. 345, Issue 6195, pp. 401-406.
- Foley, Jonathan (2010): "Límites de un planeta sano". *Investigación y ciencia*, 404: 46-49 (junio).
- Gibbs, W. Wayt (2002): "La extinción de las especies". *Investigación y ciencia*, 304: 53-61 (enero).
- Gilbert, Denis (2017): Environmental science: Oceans lose oxygen. *Nature* 542, 303–304 (16 February).
- IPCC (2013): "CAMBIO CLIMÁTICO 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes". http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- MacNeill, Jim (1989): "Estrategias para un desarrollo económico viable". *Investigación y ciencia*, 158: 114-124 (noviembre).
- Montanarella, Luca; Pennock, Dan y McKenzie, Neil (2015): "Estado mundial del recurso suelo. Resumen técnico", FAO.

- Payne, J. L. et al. (2016): "Ecological selectivity of the emerging mass extinction in the oceans". *Science* 10.1126/science.aaf2416.
- Ramírez, Francisco; Afán, Isabel; Davis, Lloyd S.; Chiaradia, André (2017): "Climate impacts on global hot spots of marine biodiversity". *Science Advances*, 22 Feb 2017, Vol. 3, no. 2, e1601198
- Ripple, William J. et al. (2016): "Saving the World's Megafauna", *Bioscience* 66 (10): 807-812.
- Syvitski, James et al. (2009): "Sinking deltas due to human activities". *Nature Geoscience*. 2, pp. 681-686, 20 september.
- VV.AA. (2015a): "Evaluación de los recursos forestales mundiales. Compendio de datos". FAO.
- VV.AA. (2015b): "Estado mundial del recurso suelo. Resumen técnico". FAO.
- Waters, Colin N. et al. (2016): "The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene", *Science*, 351 (08 Jan). https://geologie.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/dep_geodyn_sedim/Wagreich/Waters.et.al.aad2622full.2016.Science_corr.pdf.
- Zalasiewicz, Jan (2016): "Una historia estratificada. ¿Qué huellas dejaremos en el planeta", *Investigación y ciencia*, 482: 22- 29 (noviembre).
- Zalasiewicz, Jan et al. (2017): "Scale and diversity of the physical technosphere: A geological perspective". *The Anthropocene Review*, Vol. 4(1) 9 -22. <http://anr.sagepub.com/content/early/2016/11/25/2053019616677743.full.pdf+html>

HISTORIA DAS MATEMÁTICAS

FERNÁNDEZ FONTENLA, IRIA

IES San Mamede (Maceda)

iriaffonte@edu.xunta.gal

1. REFLEXIÓN SOBRE AS XORNADAS DE HISTORIA DAS MATEMÁTICAS E A SÚA APLICACIÓN NA AULA

Os días 3, 4 e 5 de maio do 2019 tiveron lugar en Valencia as Xornadas de Historia das Matemáticas dirixidas a profesorado de Ensino Secundario, e organizadas pola FESPM (Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas), ás que fun representando a ENCIGA. Hai dúas cuestións que poden resumir o obxectivo destas Xornadas e deste artigo: por que estudar Historia das Matemáticas e para que?

Eu enfocaría as preguntas dende dous puntos de vista: o do profesor e o do alumno. Para un docente é importante indagar no pasado para entender o presente, e así saber o que debemos ensinar. Coñecendo as dificultades que atoparon os grandes matemáticos podemos prever ou entender algúns problemas ós que se vai enfrontar o alumnado, e así incidir nalgúns contidos básicos ou orientar as explicacións dun xeito determinado. Para un alumno de calquera nivel, o feito de saber algo da historia dos conceptos matemáticos facilitará a súa comprensión, ademais de motivar a aprendizaxe e contribuír a unha formación integral.

Luis Puig introduciu a súa ponencia cunha cita de Hans Freudenthal que invita a reflexionar: “Debe un profesor de matemáticas saber algo da historia das matemáticas?. Unha persoa que desexe saber algo sobre a historia das matemáticas debería estudar os procesos antes que os produtos da creatividade matemática”. Diferentes opinións para dar resposta a esta pregunta xa foran tratadas en boletíns estranxeiros, simposios ou congresos, incluso na sétima edición das JAEM celebradas en Madrid no 1995, dedicaban un terceiro grupo temático titulado “Historia das Matemáticas: que ensinar e que nos ensina?”. No seu índice atopamos seis puntos que merecen ser enumerados, e semellan unha lectura aconsellábel: 1. Raíces culturais dos números negativos e o cero. 2. Unha restauración da álgebra árabe. 3. A Historia da Matemática no Ensino Secundario: A Matemática, vertebradora da cultura. 4. Os tres problemas clásicos. 5. A etapa empírica do cálculo. 6. Un paseo polo último teorema de Fermat.

Continúa a comunicación citando a Lakatos, filósofo da ciencia húngaro nado en 1922: “a historia sen filosofía é cega”, e claramente hoxe hai unha tendencia a enmarcar os resultados dun teorema esquecendo a demostración, perdendo toda a lóxica da invención que levou a eses resultados. Sería

importante levar ás aulas a forma na que os conceptos matemáticos foron elaborados, e intentar que o alumnado se sinta atraído por eses razoamentos lóxicos, mais non sempre é doado.

A miña experiencia profesional a día de hoxe neste senso non foi a ideal nin a esperada, aínda utilizando materiais diversos que a priori parecía que ían funcionar. Algúns exemplos concretos de demostracións que non me resultaron na ESO e en Bacharelato foron: dedución de resultados en trigonometría (teorema do seno, por exemplo); demostracións do teorema do cateto ou da altura (recortando triángulos e superpoñéndoos), o cadrado dun binomio (con pezas de tángram específicos) ou incluso a definición da función derivada nun punto. En varias ocasións os alumnos e alumnas só mostraban interese polos contidos que ían entrar no exame (resultados) e obviaban todo o resto. As clases convertíanse nun monólogo onde non había interacción e o interese pola materia cada vez era menor, a pesar de dispormos de recursos TIC como Geogebra e ferramentas similares, dende o meu punto de vista interesantes e incluso divertidas. Cheguei a facer destes razoamentos a materia principal de exame, o que lonxe de motivar, supuxo un abandono da materia por parte dunha parte do alumnado e obviamente, foi un fracaso. O contacto con material manipulábel normalmente dá mellores resultados, aínda que non hai unha receita universal. Unha proposta podería ser indagar nas demostracións que se facían en épocas antigas, manipulando formas xeométricas e sen necesidade da simboloxía matemática que utilizamos na actualidade para así fomentar a curiosidade polas demostracións e os razoamentos en detrimento da simple memorización dun resultado. Posiblemente funcionaría mellor a nivel global, non como actividade illada, e facer desta a metodoloxía habitual, con traballo cooperativo ou por proxectos.

Volvendo ás Xornadas de Valencia, Pedro González de Urbaneja mostrounos contribucións propias a seminarios e publicacións sobre historia moi interesantes, das que salientaría a contribución no número 45 da revista SUMA (febreiro 2004), porque comeza con dúas citas apropiadas: “Ningún tema perde tanto cando se divorcia da súa historia como as matemáticas” (E.T Bell, 1985) e “Non esquecer a orixe concreta das matemáticas nin a orixe concreta da súa evolución” (P. Puig, 1951). Na introdución do artigo paréceme interesante esta permutación de dous verbos: “hai que coñecer o pasado para comprender o presente ou hai que comprender o pasado para coñecer o presente. Se coñecer e comprender o pasado compoñen o saber, eles deberían ser o compás que oriente a nosa forma de actuar”.

Por que e para que estudar historia? Para o profesor, a historia podería servir de guía para impartir os contidos, fuxindo de formalismos, para darlle un carácter máis humano. Para o alumno é unha forma natural de entender a matemática, que se vai construíndo cunha secuencia lóxica. É sabido que os conceptos matemáticos xurdiron como unha necesidade social, para resolver problemas da vida cotiá que seguen presentes no noso día a día.

Dende épocas moi antigas, os sistemas de numeración desenvolvéronse por mor da necesidade de contar elementos dun conxunto agrupando pedras (en latín *calculus*, de onde vén a palabra cálculo), utilizando os dedos da man (do latín *digitus*, que deu lugar á palabra dígito) e ó seren dez, motivou o uso do sistema decimal. Se pensamos nas falanxes dos dedos dunha man estaremos traballando con ducias (que se usa hoxe para agrupar ovos, por exemplo), mentres que o sistema sesaxesimal, en base 60, tivo a súa orixe na antiga Mesopotamia e con el medimos tempos e ángulos. Por outra banda, o feito de elaborar un calendario nas sociedades antigas desenvolveu a Astronomía, e as reiteradas inundacións do río Nilo provocaron que en Exipto se desenvolvese a Cartografía e a Xeometría para medir as terras de labranza. É interesante fixarse ademais na etimoloxía das palabras. Así, xeometría vén do latín (“medida da terra”), aritmética do grego (*arithmos*, que significa número, co sufixo *tikos*, “relativo a”) ou álgebra do árabe (“*al jabr*”, que significa restaurar). A Estatística xurdiu da elaboración de censos para a administración do Estado mentres que a Programación Lineal o fixo para dar resposta ó problema de optimización de recursos trala II Guerra Mundial. Tamén falaremos neste artigo da medición de toneis de viño que posteriormente deu lugar ó cálculo integral.

Hai opción de tratar a historia paralelamente ós contidos, introducindo cada tema a través da mesma, incidindo nos motivos que o orixinaron e na súa importancia ó longo do tempo. Isto trataríase na aula mediante traballos de investigación, audiovisuais, engadindo citas históricas ou deténdonos a ler as notas e pés de fotos que veñen nos libros de texto e moitas veces nin sequera reparamos. Urbaneja citou algunhas das súas citas nos libros de texto: Tres problemas clásicos (triseción do ángulo, cadratura do círculo e duplicación do cubo), demostración do teorema de Pitágoras, sólidos platónicos, números triangulares, demostración de que a raíz de 2 é irracional (Aristóteles), civilizacións antigas e sistemas de numeración (Babilonia, Exipto, ...), aparición da simboloxía matemática (+, -, ...).



Ilustración de Pitágoras (Pedro Lario)

Para implicar a Historia das Matemáticas na súa didáctica, a forma máis directa é utilizar o método xenético, extraído da Bioloxía, que vén dicir que para a completa comprensión dun concepto matemático o estudante debe repetir o proceso histórico que se desenvolveu ata a súa formulación actual. Como afirmou Poincaré (1854-1912): “O educador debe facer pasar ó neno por onde pasaron os seus pais; mais rapidamente pero sen saltar ningunha etapa. A historia da ciencia debe ser a primeira guía”. Felix Klein (1849-1925) sinala que dende o punto de vista pedagóxico-matemático non se debe dar demasiado pronto ó alumno contidos que resulten abstractos e difíciles, e lembrando a lei fundamental da bioxenética, un individuo debe percorrer todos os estados de desenvolvemento da especie á que pertence. En canto a isto gustárame puntualizar que os tempos mudan, as tecnoloxías permiten unha aprendizaxe diferente e posiblemente máis veloz. Por poñer un exemplo, un neno duns tres anos podería entender o significado dun número negativo porque o ten presente na vida diaria, mentres que se retrocedemos na historia, este concepto foi complexo. “As crianças acedem diretamente ao seu presente cultural” Jesus Balteiro (A escola imaginária). Porén, aínda que este neno non teña problemas para entender o concepto, chegado o momento seguro que non lle resulta sinxelo operar con números negativos e precisa de tempo e práctica para asimilar as operacións.

Nas matemáticas evolucionamos dende o particular ó xeral, é dicir, observando a realidade que nos rodea, algo concreto, obtemos un resultado abstracto. Cando lle presentamos ós alumnos ese resultado (por exemplo, unha fórmula), seguro que o entenden mellor como algo concreto, utilizando números en vez de letras. Fixen unha pequena proba nunha clase de 2º ESO cun problema que trataba de dous números consecutivos, e nun grupo chegaron sen maior dificultade á conclusión de que os números eran x e $x+1$, despois de poñer varios exemplos concretos. Noutro grupo propúxose o mesmo

enunciado cos números en forma alxébrica, directamente coas letras, e semella que a dificultade foi maior. Aquí o método heurístico xoga un papel fundamental, favorecendo a adquisición de conceptos que se van formando paulatinamente mediante probas e refutacións, favorecendo así a creatividade.

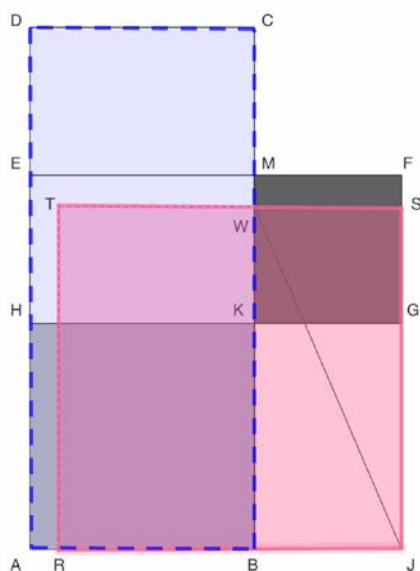
Coido que debemos andar con tino para non limitarnos a unha simple relación de anécdotas sen dotación matemática, mais ben busquemos a visión histórica asociada ós contidos, incluso acudindo a textos clásicos orixinais. Durante as Xornadas asistimos a dous obradoiros que me gustaría compartir: Iolanda Guevarra (Universidade de Barcelona) viaxou no tempo para transformar figuras xeométricas dende o punto de vista de tres culturas tan diferentes como importantes, e Antonio Oller (IUMA, Zaragoza), a indagar nos procedementos utilizados ó longo de séculos para medir a capacidade dun tonel.

2. TRANSFORMACIÓN DE FIGURAS XEOMÉTRICAS

As tres culturas ás que se refire Iolanda son os sulbasutras (India), os Nove Capítulos (libro clásico da China) e os Elementos de Euclides (Antiga Grecia). Todos relacionados coa xeometría e con aplicación directa a unha aula de secundaria.

-Os sulbasutras son considerados uns apéndices dos vedas nos que se dan normas para a construción de altares (son os textos máis antigos da India, compostos entre o II e o I milenio a. C) e son a única fonte que se conserva dos coñecementos matemáticos védicos, previos á formación da relixión hinduísta. Un problema importante na cultura dos sulbasutras era construír un altar cadrado coa mesma área que un rectángulo dado (feito de forma exacta, pero sen demostración) ou coa mesma área que un círculo (feito de forma aproximada). Non se sabe se as investigacións matemáticas tiñan un fin simplemente relixioso ou se tiñan outros intereses propios como foi no caso dos gregos, pero crese que existían para apoiar os traballos de astronomía da época. A orientación do altar desenvolveu a Astronomía e as formas do mesmo, a Xeometría. Incluso se recolle o enunciado do teorema de Pitágoras, datado dunha época anterior á que el viviu.

No obradoiro estudamos as operacións precisas para, a partir dun rectángulo ABCD obter un cadrado coa mesma área, RJST:



A imaxe foi tomada do libro da “Cresta do pavo real” (J. Gheverghese, 1991, Crest of the peacock), onde atopamos o procedemento que se fai para transformar o rectángulo ABCD (Figura 1) nun cadrado da mesma área:

Constrúe o cadrado ABKH coa medida do ancho do rectángulo AB. Divídese o rectángulo que sobra, HKCD, en dous rectángulos iguais (E é o punto medio de HD) e movemos EMCD a continuación do lado BK. A nova posición é BJGK. Completamos o cadrado que falta, KGFM, e trazamos o arco de radio JF, que corta a BC en W. A paralela a AB pasando por W corta a JF no punto S. Así temos que o cadrado buscado é o que ten de lado JS, JSTR. Podemos comprobar co teorema de Pitágoras que este cadrado ten a área do rectángulo ABCD ($AD \cdot AB$):

$$JS^2 = JW^2 - WS^2 = AJ^2 - BJ^2 = (AJ + BJ) \cdot (AJ - BJ) = AD \cdot AB$$

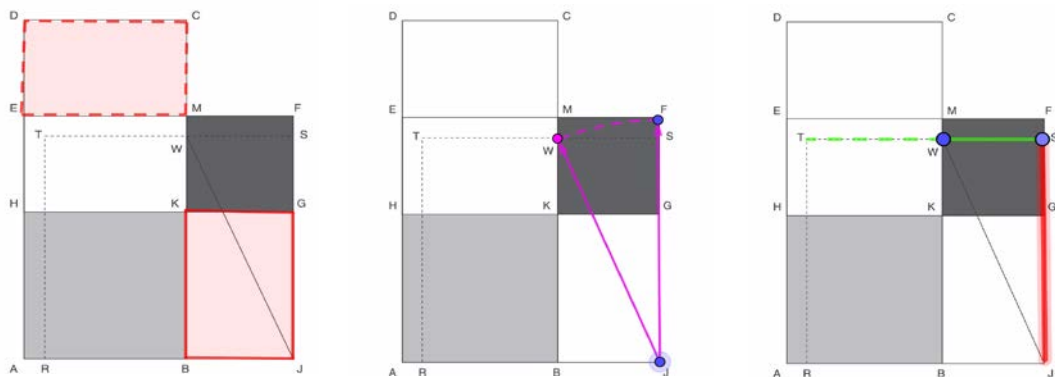


Figura 1. Cadrar un rectángulo. Gheverghese. Crest of the peacock.

Nas imaxes (obtidas da presentación de Iolanda), que veñen a continuación explícase o procedemento que se seguía na Xeometría Védica, sen demostracións formais, recortando e combinando cadrados para obter o cadrado RJST a partir dun rectángulo ABCD:

“Cortar un cadrado do rectángulo da súa anchura, e o resto, poñer unha metade a cada lado adxacente do cadrado. Encher os elementos que faltan (un cadrado). A direrenza está establecida”

Na primeira parte indícase como obter a medida do lado dun cadrado que cumpra que a súa área sexa a suma de dous cadrados dados. Levando o cadrado máis pequeno sobre un vértice do grande e unindo vértices opostos de cada un, obtemos a diagonal que se ve na foto, tal que o cadrado construído sobre a mesma é a suma dos dous cadrados dados (vén ser o teorema de Pitágoras).

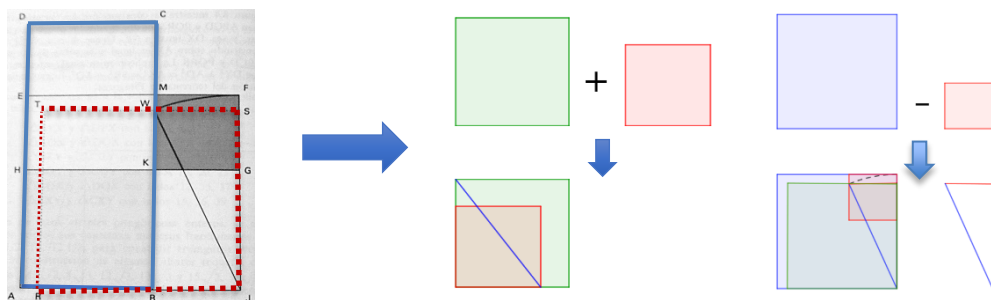


Figura 2. Cadrar un rectángulo na Xeometría Védica. Imaxes do obradoiro de Iolanda Guevarra

Na segunda parte indícase como obter a medida do lado dun cadrado que cumpra que a súa área sexa a diferenza de dous cadrados dados. Situando coma antes, un vértice sobre o outro, e trazando un arco coa medida do lado grande temos un punto que interseca ó pequeno. A paralela a un lado por ese punto interseca ó lado do grande nun punto que me dá a medida do cadrado buscado.

-Os Elementos de Euclides (300 a.C) é o libro máis editado despois da Biblia, un clásico que recolle definicións, axiomas, postulados e demostracións que forman o saber matemático grego e que foi usado como texto básico de xeometría durante máis de 2000 anos no mundo occidental. Foi traducido ó galego polos profesores Ana Gloria Rodríguez Alonso e Celso Rodríguez Fernández (a primeira versión en castelán é atribuída a Rodrigo Zamorano e data do ano 1573).

Todo o procedemento do Libro II é xeométrico e versa sobre a igualdade de áreas de rectángulos e cadrados. A proposición 14 intenta construír un cadrado con área igual a unha figura rectilínea dada. O concepto de igualdade de áreas está implícito nos Elementos e obtense cortando as figuras en pezas e engadindo ou subtraendo figuras congruentes.

Pode ser un exercicio interesante para a aula seguir o procedemento do libro con cores diferentes e facer unha demostración puramente xeométrica.

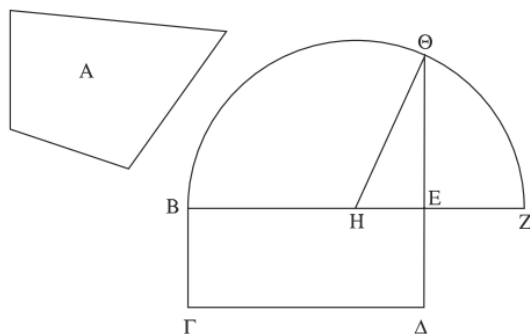


Figura 3. Construír un cadrado coa área de A. “Os Elementos”

No obradoiro de Iolanda utilízanse diferentes cores para a demostración, resultando máis simple e atractiva, xa que cores iguais representan áreas iguais. A imaxe anterior foi obtida da tradución ó galego dos Elementos (por Ana Gloria e Celso), e respectando a súa notación “representamos un paralelogramo BΔ igual á figura rectilínea A”. Partindo do rectángulo BΓΔE, prolongamos a recta BE ata Z, sendo EZ igual a EΔ (en azul) e cortamos a metade de BZ por H. Con centro en H e con radio HZ, debuxamos o semicírculo BΘZ, prolongamos ΔE ata Θ e unimos HΘ. Veremos que o lado do cadrado buscado vén dado pola distancia EΘ (en negro).

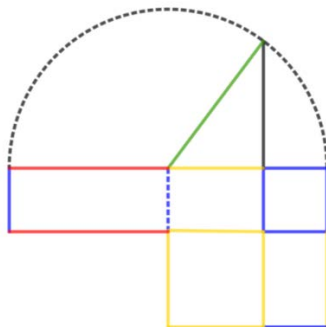
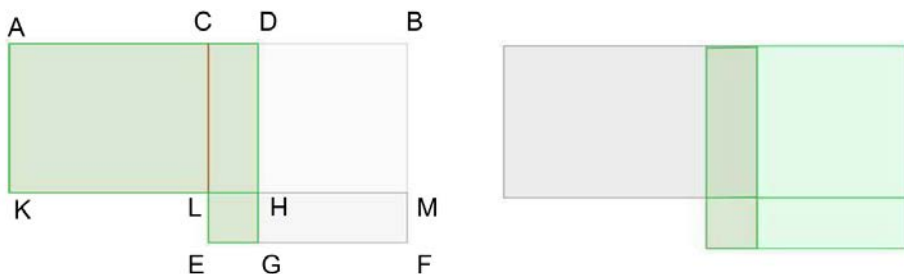


Figura 4. Imaxe tomada do obradoiro de Iolanda Guevarra

A demostración de que este cadrado ten a mesma área que o rectángulo na nosa notación actual sería: $\Gamma\Delta \cdot \Gamma B = E\Theta^2$, que é o que imos demostrar coa axuda das cores.

No Libro II, Proposición 5 lemos: “Se unha liña recta se corta en segmentos iguais e desiguais, o paralelogramo de ángulos rectos contido polos segmentos desiguais dela enteira xunto co cadrado da recta do medio dos cortes é igual ó cadrado da metade”. No debuxo temos un segmento AB cortado en dúas partes, C e D. O que a proposición anterior afirma é a igualdade das dúas áreas representadas en verde:

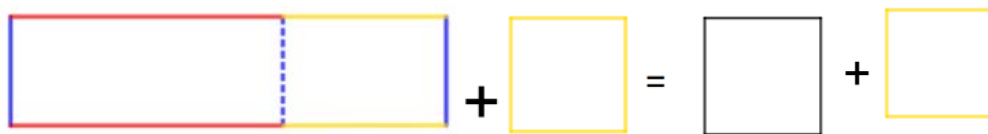


Seguindo a proposición II.5 aplicada á nosa figura temos:

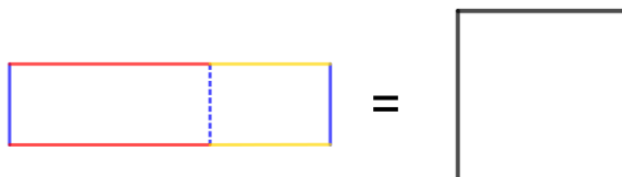


Como $HZ = H\Theta$, entón o cadrado anterior é igual ó cadrado de $H\Theta$ (sobre a liña verde).

Os cadrados de ΘE e $E H$ son iguais ó de $H\Theta$ (prop 47, Libro I: “Nos triángulos rectángulos, o cadrado do lado que está tendido baixo o ángulo recto é igual ós cadrados dos lados que conteñen ó ángulo recto”, coñecida como o teorema de Pitágoras). Así, o paralelogramo de ángulos rectos contido por BE e $E Z$ xunto co cadrado de HE son iguais ós cadrados de ΘE e $E H$.



Quitando a ambos lados o cadrado HE temos o que queríamos demostrar:



Así temos construído un cadrado (en negro) igual á figura rectilínea dada, A.

Esta é unha demostración ó estilo de Oliver Byrne, que tamén utilizou na súa tradución dos Libros de Euclides (1847) diagramas de cores e símbolos en lugar de letras como se ve no exemplo:

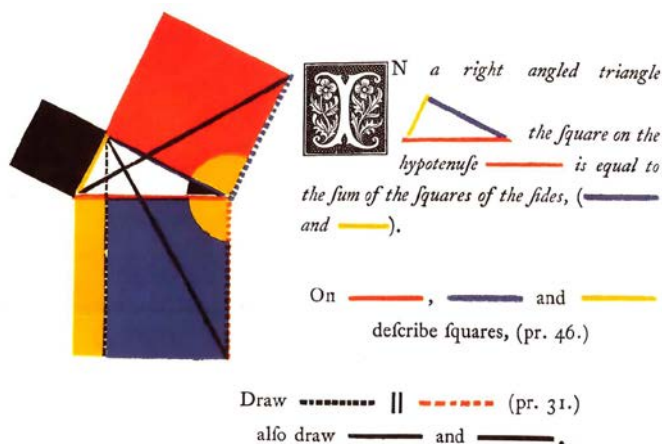


Figura 5. Demostración ó estilo de Oliver Byrne

- Os Nove Capítulos son problemas concretos con números concretos (aplicables na ESO). Vén sendo o “teorema de Pitágoras con enunciados chinos sobre a base (gou) e a altura (gu)”. Como nos casos anteriores, a conservación de figuras que conservan áreas é o núcleo deste procedemento.

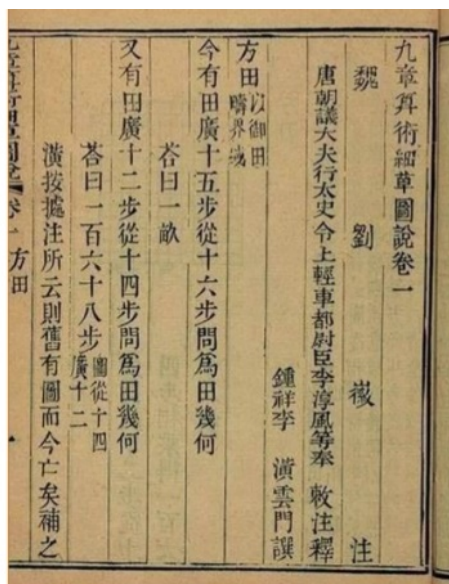


Figura 6. Páxina dos Nove Capítulos

O texto clásico: “Base (gou) e altura (gu), multiplicando cada unha por ela mesma, súmanse os resultados e divídense pola extracción da raíz cadrada, o que dá é a hipotenusa.”

Liu Hui (263), explicación con descrición de figuras, aínda que as figuras non aparecen ata séculos despois: “A base multiplicada por ela mesma dá un cadrado vermello e a altura por ela mesma un cadrado azul. Faise de tal forma que se recompoñen uns cos outros; partindo do feito que se garden uns anacos que quedan sen moverse, xérase por reunión o cadrado do lado sobre a hipotenusa. Dividindo esta por extracción da raíz cadrada dará a hipotenusa”

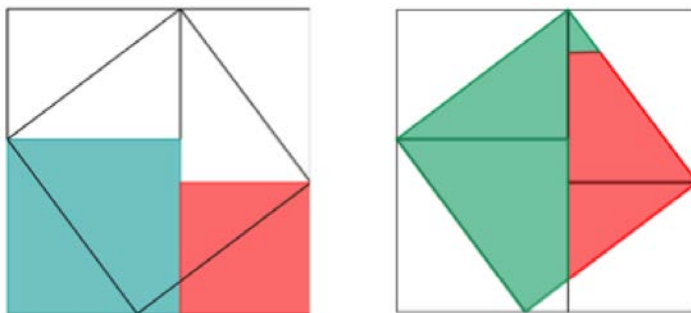


Figura 5. *Imaxes do obradoiro de Iolanda Guevarra*

Podemos concluír que as tres culturas teñen en común a transformación de figuras que conservan áreas. A diferenza fundamental radica en que na Xeometría Védica non se xustifican os procedementos utilizados, mentres que Euclides e Liu Hui usan argumentos, Euclides para as demostracións matemáticas dunha colección de definicións, postulados e proposicións e Liu Hui para xustificar procedementos algorítmicos de cálculo.

3. CINCO SÉCULOS AFORANDO TONEIS

Este obradoiro versou nun relevante problema presente durante milleiros de anos: medir a capacidade dun tonel. Xa os romanos utilizaban toneis para o almacenamento de víveres de aspecto similar ós que coñecemos hoxe, e podemos dicir que o oficio de toneleiro é moi antigo, posiblemente anterior á nosa era.

No libro de Vicente Meavilla dos Principios matemáticos a través da pintura, aparecen estes dous óleos: *Los Medidores* (Hendrik van Balen, segunda metade do século XVI) e *Le Tonnelier* (Jean François Millet, 1848-1852), que dá unha idea da importancia que tiña esta profesión.

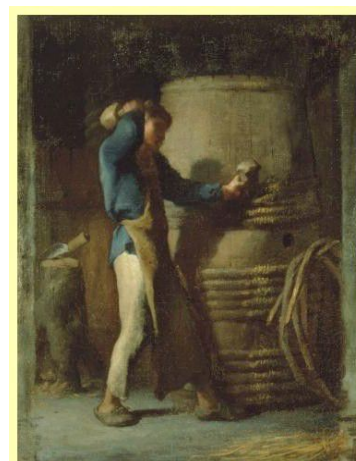


Figura 6. *Óleos Los Medidores e Le Tonnelier*

A construción de toneis e a medida da súa capacidade impulsou a grandes matemáticos como Kepler a abordar este tema nas súas obras. Así se desenvolveu o cálculo integral que utilizamos hoxe en día.

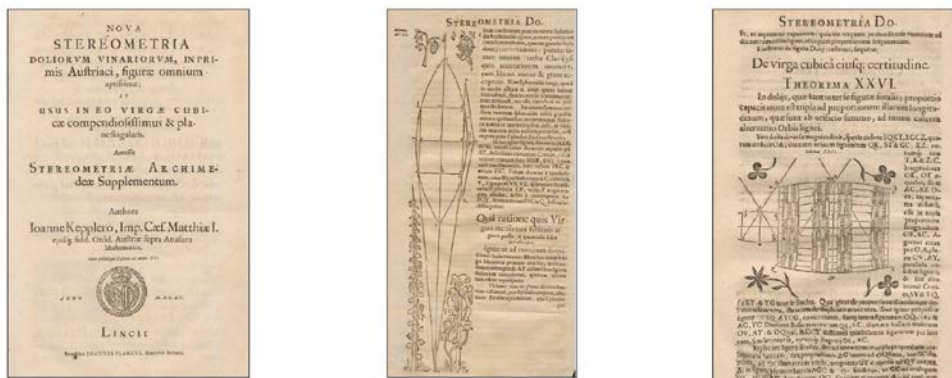


Figura 7. Johannes Kepler: *Nova Stereometria Doliorum Vinariorum* (1615)

Unha actividade interesante para levar á aula sería analizar textos antigos e “descifrar” a forma na que se calculaban as áreas e volumes e en que consistía. No obradoiro traballamos con fragmentos de textos matemáticos antigos lendo e analizándoos en grupos de profesores. É algo adaptable ó ensino secundario, pois os contidos son básicos.

Por falta de tempo non afondamos demasiado no Tratado de Xeometría Práctica e Especulativa (1573), escrito por Juan Pérez de Moya, aínda que me parece o máis indicado para levar a unha aula dende 2º ESO, pois é sinxelo e dá unha boa aproximación do número π . Nel calcula o volume do tonel aproximándoo por un cilindro da mesma altura e un diámetro que é a media aritmética dos diámetros medio e extremo do tonel.

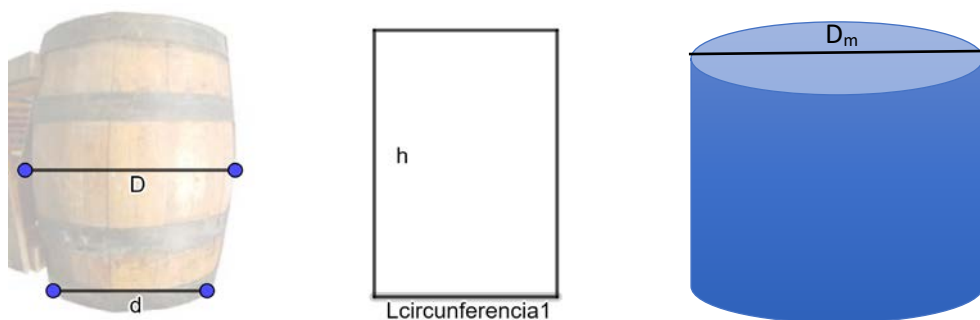


Figura 8. Aproximación por Juan Pérez de Moya

A lonxitude da circunferencia 1 terá de diámetro a media dos dous que aparecen na Figura 10:

$$D_m = \frac{D+d}{2} \text{ e radio a metade: } r_m = \frac{1}{2} \left(\frac{D+d}{2} \right).$$

Para calcular o volume, no texto orixinal multiplica o cadrado da media dos diámetros pola altura e logo fai os $\frac{11}{14}$ (subliñado en amarelo no texto orixinal) desa cantidade, que xorde ó facer a aproximación de π :

$$V \sim \pi \left[\frac{1}{2} \left(\frac{D+d}{2} \right) \right]^2 h = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D+d}{2} \right)^2 h \sim \frac{11}{14} \left(\frac{D+d}{2} \right)^2 h,$$

dado que $\pi \cong \frac{22}{7}$

cuba toma (por la razon dicha en el capitulo precedente) los **11 catorze-nes**, multiplicando 250 por 11, y montara 2750, parte estos 2750 por 14 y

No obradoiro de Oller comezamos analizando un texto de Luca Pacioli (1445-1517), onde o volume vén dado aproximando por dous troncos de cono. Para chegar á fórmula actual hai que utilizar conceptos de proporcionalidade, do mesmo xeito que se fai no texto. A fórmula actual pode obterse por semellanza do volume dunha pirámide: $V = \frac{1}{3}\pi h(R^2 + r^2 + Rr)$

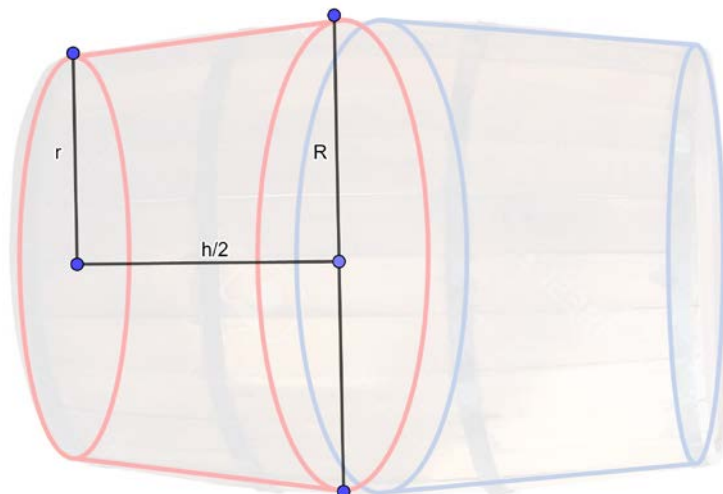


Figura 9. Aproximación de Luca Pacioli

Como os dous troncos de cono son iguais podemos calcular o volume dun e multiplicar por 2. Ademais, se en vez de traballar cos radios o facemos cos diámetros igual que no apartado anterior temos:

$$V \sim \frac{2}{3}\pi \frac{h}{2} [R^2 + r^2 + Rr] = \frac{2}{3}\pi \frac{h}{2} \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 + \frac{D}{2} \cdot \frac{d}{2} \right] = \frac{\pi h}{12} (D^2 + d^2 + Dd), \quad \text{que sería interesante comparalo co texto.}$$

Joan Ventallol (século XVI), considera un tonel de bases desiguais (de diámetros d_1 e d_2) e fai o promedio do volume dos cilindros das bases dadas. A medida do diámetro estará contida entre as dúas bases. O diámetro do cilindro, tendo en conta os que se ven na figura sería $\frac{d_1 + d_2 + D}{2}$. Tendo en conta que a base do cilindro é un círculo do diámetro anterior, o volume calcularase multiplicando a lonxitude da correspondente circunferencia pola altura. Así chega á fórmula:

$$V = \pi \left(\frac{\left(\frac{r_1 + r_2}{2}\right) + R}{2} \right)^2 h = \pi \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{r_1 + r_2}{2}\right) + R \right)^2 h. \text{ Como o diámetro é o dobre do radio:}$$

$$V = \pi \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{d_1 + d_2}{2} + D}{2} \right)^2 h = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2 + 2D}{4} \right)^2 h \cong \frac{11}{4} \left(\frac{d_1 + d_2 + 2D}{4} \right)^2 h$$

Nótese que se os diámetros d_1 e d_2 fosen iguais fórmula de Ventallol redúcese á de Pérez de Moya.

Outros matemáticos resolveron de distintas formas: Polanco fai o promedio das áreas en vez da dos diámetros e Cirodde fai unha partición máis fina. A idea en todos eles é analizar os textos antigos para estudar os procedementos que seguían na medición dun tonel.

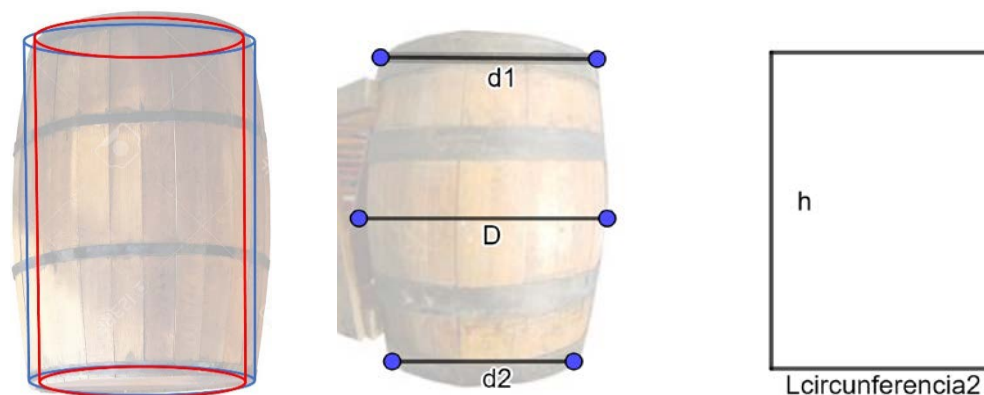


Figura 10. *Aproximación de Joan Ventallol*

4. BREVE REPASO POR OUTRAS ACTIVIDADES

Xa rematando as xornadas, Bernardo Gómez céntrase nos diferentes sistemas de medida e intercambios monetarios que foron resolvendo problemas na aritmética mercantil. Para elixir as unidades de medida tomáronse correspondencias entre partes do corpo humano (un palmo), entre capacidade e superficie, capacidade e peso ou tempo e traballo (un xornal). Trala caída do Imperio Romano coexistiron sistemas metrolóxicos de influencia romana, visigoda, árabe e carolinxia. Un exercicio interesante para traballar na aula podería ser calcular as equivalencias entre estes sistemas, como se facía antes da adopción do sistema internacional de medidas. Polo xeral estamos afeitos a unha notación determinada e un xeito mecánico de resolver os problemas, e cando se presenta unha situación un pouco diferente custa resolvela. Por exemplo, estamos tan afeitos a que o prezo das laranxas veña dado como euros por kg (1,30 euros/kg), que preguntar cantos kg podemos comprar cun só euro parece que complica a situación. Por iso ás veces é interesante saír da zona de confort e traballar doutra forma. Tamén nos poderíamos trasladar á Idade Media e a civilizacións anteriores e investigar como facían operacións aritméticas (multiplicación mourisca) ou traballar equivalencias con moedas antigas (maravedí, dinar, denario, real...).

Santi Selvi presenta: “O uso do cómic como ferramenta didáctica”, catro cómics de catro personaxes da historia das matemáticas: Gauss, Arquímedes, Emmy Noether e Galois. Todos da editorial Bang Ediciones. O cómic, grazas ó seu formato e os debuxos, acostuma resultar máis atractivo que outro tipo de lecturas, tanto para nenos como para adultos, e é unha boa forma de divulgación. Outra opción son os audiovisuais, xa que podemos atopar cortos de animación con biografías de grandes homes e mulleres da ciencia que están moi ben para levar á aula.

Para finalizar, botamos unha ollada á importancia que damos á Historia das Matemáticas nos currículos de Secundaria e Bacharelato. En Galicia apenas está presente, mentres que noutras comunidades, aínda que non apareza como un contido da materia, queda recollida en estándares de aprendizaxe, criterios de avaliación ou como orientación metodolóxica. Encarnación Reyes presentou o temario do “Máster para el Profesorado de ESO y Bachillerato” (Universidad de Valladolid), hai unha materia optativa dedicada a historia (“Ideas y conceptos matemáticos a través de la historia”), que representaría un 5% do total.

5. CONCLUSIÓN

Como vimos, a inclusión do estudo da Historia das Matemáticas ten moitas vantaxes e sería interesante incluíla nos currículos de Secundaria e Bacharelato, non como algo independente dos contidos, máis ben como vía paralela para impartilos. Así conseguiríamos:

- Humanizar as matemáticas e relacionalas coa evolución cultural xeral.
- Impartir unha formación integral ó alumnado dando un coñecemento social e científico.
- Ver as matemáticas como unha ciencia que se desenvolve para dar resposta a preguntas expostas pola humanidade e para resolver necesidades sociais.
- Motivar e apoiar ó alumnado en xeral dando un carácter máis lúdico.
- Motivar a aquela parte do alumnado que se sinta atraído pola historia e sen embargo, que non sinta o mesmo interese polas matemáticas.
- Motivar a alumnos de altas capacidades con problemas fóra da zona de confort.
- Relacionar as distintas épocas da historia cos descubrimentos matemáticos e valorar o seu uso.
- Situar cronoloxicamente ós personaxes mais relevantes que fixeron historia ou marcaron un fito no desenvolvemento das matemáticas e comprender as ideas e conceptos aportados por eles.
- Coñecer as ferramentas dispoñibles nunha determinada época recoñecendo as súas limitacións e facendo unha análise comparado coas técnicas actuais.
- Posibilidade de extrapolación cara ó futuro.

6. REFERENCIAS

- Alonso, N., Mirás, M. (2019). Mate-glifos. Orixe e evolución dos símbolos en matemáticas. *Xerais*.
- Stewart, I. (2012) Historia de las matemáticas en los últimos 10000 años. Crítica.
- G. Urbaneja, M. (2004) La historia de las matemáticas como recurso didáctico e instrumento para enriquecer culturalmente la enseñanza. *Revista Suma*, 45. 17-28.
- Hernández, V.M. (2005). Historia y educación matemática. 287-300
- Rodríguez, A. G., Rodríguez, C. (2013). Os Elementos de Euclides. Santiago de Compostela (USC e Fundación BBVA)
- Byrne, O.; Dorce, C.; Guevara, I; Blanco, M; Farrà, A; Llorens, Q; Pi, I (2019). *Eulid's Elements of Geometry. Completing Oliver Byrne's work*. Barcelona. A Kronecker Wallis Book.
- Heath, T. L. (1956). *The thirteen Books of Euclid's Elements*. Dover. Cambridge University Press.
- Joseph, G. G. (1996). *La cresta del pavo real*. Madrid. Editorial Pirámide.
- Plofker, K. (2009). *Mathematics in India*. Princenton. Press. Princeton. Edu.
- Sen S.N. & A.K. Bag (1983). *The Sulbasutras of Baudhayana, Apastamba, Katyayana and Manava*. New Delhi. Indian National Science Academy.
- Pla i Carrera, J. (2009) Liu Hui. Nueve capítulos en la matemática china. Madrid. Nivola. (Colección la matemática en sus personajes, 39)
- Meavilla, V. (2016) *El arte de las matemáticas. Los principios matemáticos a través de la pintura*. Guadalmazán

SEMINARIO PARA A ANÁLISE E PROPOSTAS SOBRE O CURRÍCULUM DE MATEMÁTICAS NO BACHARELATO

MACÍA FERNÁNDEZ, BENJAMÍN

IES Blanco Amor

bmacia@edu.xunta.gal

1. INTRODUCCIÓN

Organizado pola Comisión de Educación do CEMat (Comité Español de Matemáticas) celebrouse, do seis ao oito de marzo deste ano 2020, o Seminario para a análise e propostas sobre o currículo de Matemáticas no Bacharelato. Foi subvencionado polo CEIM (Centro Internacional de Encontros Matemáticos), tendo lugar na sede do mesmo, na localidade de Castro Urdiales. Asistín á mesma en representación da nosa organización, á que lle agradezo terme brindado esta posibilidade e, dado o interese destas xuntanzas, animo a outros asociados a participar en convocatorias semellantes.

O seminario estruturouse nos seguintes apartados:

Que bacharelato queremos e para que?

O currículo de Matemáticas no Bacharelato de Ciencias.

O currículo de Matemáticas no Bacharelato de Ciencias Sociais.

Transición entre ESO e Bacharelato e entre Bacharelato e Universidade.

Conclusións.

En cada un dos apartados (o primeiro deles tivo dúas partes), dous ou tres poñentes expuñan as súas reflexións sobre o mesmo e un coordinador moderaba a exposición e o debate posterior.

A continuación recollo as exposicións feitas en cada un deles.

2. QUE BACHARELATO QUEREMOS E PARA QUE?

No preámbulo do RD 1105/2014, polo que se establece o currículo básico da ESO e do Bacharelato así como, nos artigos 10 e 11, no caso da ESO e, nos artigos 24 e 25, no caso do Bacharelato xa temos unha resposta inicial á pregunta.

Podemos considerar tres maneiras de ver as matemáticas:

Visión platónica: o fin das matemáticas é o coñecemento e o desenvolvemento das mesmas.

Visión instrumental: son un instrumento para aplicar.

Visión investigadora: centrada na resolución de problemas.

Dentro do Bacharelato, as Matemáticas Aplicadas deberían ter un carácter instrumental en tanto que, as Matemáticas II deberían ter un carácter investigador, o que está en contra da cada vez máis estendida tendencia de ensinar matemáticas para as ABAU.

Que propostas se fan para mellorar?

- O profesorado debe ser coherente coa lexislación, fundamentalmente no traballo por competencias e na aplicación do Bloque 1 do currículo.
- Cambios na ABAU para adecualas a determinar as competencias adquiridas polos estudantes.
- Profesores formados para a educación matemática. O cambio debe comezar pola formación do profesorado.
- Unha revisión do currículo que determine o afondamento nos contidos, máis que a supresión dos mesmos.
- Menos rutinas, máis investigación, experimentación e modelización. Que se lles propoñan aos estudantes actividades que permitan indagar, conxectar e demostrar, partindo da resolución de problemas.
- Para ter máis tempo para desenvolver o currículo, empregar a calculadora e software como GeoGebra e outros.
- Empregar bancos de recursos existentes que permitan traballar por competencias tales como:
 - o <https://undergroundmathematics.org/>
 - o <https://seniorsecondary.tki.org.nz/>
 - o <http://xtec.gencat.cat/ca/curriculum/xarxach>
 e a creación doutros semellantes.

3. O CURRÍCULO DE MATEMÁTICAS NO BACHARELATO DE CIENCIAS

Hai distintos currículos: currículo oficial, currículo potencial, currículo impartido e finalmente currículo aprendido. Sería posible que o currículo oficial coincida co currículo impartido e aprendido?

O actual currículo ten un carácter cíclico, é realmente a mellor opción? Como serían os resultados se os contidos se traballaran unha soa vez con máis afondamento?

Os estudantes teñen como obxectivo unha comprensión procedemental dos conceptos en tanto que os profesores queremos unha comprensión conceptual. Sería desexable lograr no estudante unha disposición para usar, explicar e conectar distintas propiedades co seu pensamento matemático.

O actual currículo de Matemáticas non dá resposta ás necesidades de formación dun estudante que vai a iniciar na Universidade un grao de saúde. Aínda que está máis dirixido a estudantes que van a iniciar na Universidade un grao da área de Ciencias ou Enxeñaría, estes precisan máis rigor, autonomía, traballo en grupo e outros. É posible que os contidos se adapten ás expectativas dos estudantes?

Que propostas se fan para mellorar?

- Reducir o afondamento nos contidos.
- No segundo curso de Bacharelato:
 - o Suprimir as actuais materias de Matemáticas II e Matemáticas Aplicadas II e introducir tres novas materias de matemáticas.

- o Unha común para todos os estudantes, agás os do bacharelato de Artes e Humanidades, con contidos de Estatística e Probabilidade, e contidos básicos de Álgebra e Análise.
- o Outra para a modalidade de Ciencias, agás os que seguen pola opción bio-sanitaria, de afondamento con contidos de Álgebra e Análise e introducindo a xeometría do espazo, números complexos, cónicas...
- o Outra para a modalidade de Sociais con contidos de afondamento de Álgebra e Análise adecuados aos estudos do ámbito económico.
- Continuar o traballo por competencia xa iniciado na ESO, ó cal se adaptarán as probas da ABAU.

No transcurso do debate posterior xurdiu, coma alternativa á supresión e introdución de materias de Matemáticas, outra opción:

Así como as materias de Bioloxía e Xeoloxía, Física e Química, do curso primeiro de bacharelato se desdobran cada unha delas en dúas materias en segundo curso, facer o mesmo coas Matemáticas II.

Das dúas materias deste desdobre, unha delas iría orientada ás titulacións da área de saúde e a outra as demais áreas de Ciencias. Manteríase a materia de Matemáticas Aplicadas cunha revisión dos seus contidos.

4. O CURRÍCULO DE MATEMÁTICAS NO BACHARELATO DE CIENCIAS SOCIAIS

A materia de Matemáticas Aplicadas ás Ciencias Sociais, MACS, está condicionada polo feito de que moitos dos estudantes que a cursan, o fan ou ben por non cursar outras materias ou ben por non ter outra opción. Tamén temos que ter en conta que hai alumnado nesta modalidade de Bacharelato que continúa os seus estudos en ciclos formativos.

A diferenza das Matemáticas I e II, os puntos fortes do seu currículo son o bloque transversal, o bloque de estatística e probabilidade, o uso de medios tecnolóxicos, a resolución de problemas e os conceptos básicos de economía.

Que propostas se fan para mellorar?

- Considerar se é conveniente empregar programas de cálculo simbólico para determinados contidos do currículo, tales coma: matriz inversa, determinantes, cálculo de primitivas, integrais, ...
- Incluír o estudo dos diferentes sistemas electorais.
- Incluír os seguintes tipos de razoamento matemático: indución, dedución, redución ao absurdo.
- Adecuar os contidos ao que se necesita para a vida profesional e non só para os graos.
- Traballar na aula os contidos do Bloque I do currículo como figuran no Decreto.

5. TRANSICIÓN ENTRE ESO E BACHARELATO E ENTRE BACHARELATO E UNIVERSIDADE

Hai un grande salto entre a ESO e o Bacharelato. O curso de 1º de Bacharelato é curto para a cantidade e dificultade dos contidos o que provoca no estudante frustración e abandono.

Na análise dos temas que se estudan no primeiro curso dos graos, non se observan diferencias respecto aos estudados no Bacharelato. Sen embargo, si vemos os contidos dos temas, hai un salto moi grande.

Xa mencionamos, no punto dous, o inadecuado do programa de Matemáticas II para os estudantes que seguen estudos da área de Saúde.

No paso do alumnado do Bacharelato de Sociais á Universidade, expúxose un estudo feito sobre os estudantes que durante o curso 2018/19 accederon aos graos que se imparten na Facultade de Economía e Empresa da UAB e, que pode consultarse no seguinte enlace:

<http://revistes.ub.edu/index.php/RIDU/article/view/RIDU2020.12.10>

Destacáronse os puntos seguintes:

- Os coñecementos matemáticos dos estudantes que acceden a estes estudos, foron diminuindo co paso dos anos.
- Os coñecementos matemáticos dos estudantes de novo ingreso son insuficientes.
- Teñen mellor formación e polo tanto, máis preto dos coñecementos necesarios, os estudantes que cursaron Matemáticas II.
- Os estudantes que cursaron Matemáticas II e, nas probas de ABAU, se examinaron de MACS acadaron mellores resultados.

Que propostas se fan para mellorar?

- Cada nivel, primaria, secundaria e universidade, debe ter en conta aos demais no momento de fixar os seus currículos.
- As Comunidades Autónomas que traballan en Primaria e na ESO por competencias, piden que se estenda tamén ao Bacharelato.
- Revisar os contidos para adecualos ás posibilidades de aprendizaxe dos estudantes en lugar do que van precisar no futuro.
- Acadar un equilibrio entre unha ensinanza dirixida ao coñecemento e formación de elites e, unha ensinanza en termos sociais e de non discriminación.

6. CONCLUSIÓNS

O documento de conclusións do Seminario pode consultarse na páxina web da Comisión de Educación do CEMat:

<http://matematicas.uclm.es/cemat/es/noticias>

Nesta páxina figura un documento semellante sobre as **“Jornadas sobre la evaluación en Bachillerato para el acceso a la universidad (EBAU) en las asignaturas de matemáticas” de grande interese.**

XUVENCIENCIA, CANDO FEDELLAR É O COMEZO DO PENSAMENTO CRÍTICO

AL-SOUFI, WAJIH;¹ BARCIA VIÉITEZ, RAMIRO;² CABANA IGLESIA, ANA;³ DAFONTE DAFONTE, JORGE;⁴ FERNÁNDEZ LORENZO, JUAN LUIS;⁴ FREIRE PAZ, ELENA;³ GONZÁLEZ GARCÍA, MIGUEL ÁNGEL;⁴ GONZÁLEZ SEQUEIROS, PABLO;⁵ LÓPEZ ALONSO, MARTA;² LÓPEZ GONZÁLEZ, FRANCISCO JAVIER;⁴ LOSADA GARCÍA, ANA PAULA;² PORTELA MASEDA, MARTA;⁶ QUIROGA BERDEAL, MARÍA ISABEL;² VALCÁRCEL ARMESTO, MONTSERRAT;⁴ VERA RODRÍGUEZ, MANUEL;² NOVO RODRÍGUEZ, MERCEDES¹

¹ Facultade de Ciencias, USC

² Facultade de Veterinaria, USC

³ Facultade de Humanidades, USC

⁴ Escola Politécnica Superior de Enxeñaría, USC

⁵ Facultade de Formación de Profesorado, USC

⁶ Facultade de Administración e Dirección de Empresas, USC

Un grupo interdisciplinar de innovación docente do campus de Lugo da Universidade de Santiago ideou en 2013 un campamento científico de verán para adolescentes que se ten transformado nun completo programa que inclúe tamén formación para profesorado de ensino medio e o deseño de kits de experimentación para o seu uso en colexios e institutos.



Figura 1. Photocall co alumnado do Campus XuvenCienca.

1. INTRODUCCIÓN

XuvenCiencia é xa unha marca que acumula sete anos de traxectoria en Galicia e tamén máis aló do Padornelo. Na actualidade, as tres vertentes de acción de XuvenCiencia —campus de verán, xornadas para profesorado e XuvenCiencia na aula— conforman o proxecto **Fago, logo aprendo!**, unha proposta que lle dá resposta á necesidade de formar as e aos adolescentes no pensamento crítico, a resolución de problemas e a investigación científica a partir dunhas ferramentas atractivas e efectivas. A experimentación, os supostos prácticos e o fedellar sen descanso —para atopar solucións, pero tamén para pasalo ben— constitúen as máis salientables características das nosas actividades.

Quen somos en XuvenCiencia?

A profesora Mercedes Novo é coordinadora do grupo XuvenCiencia, no que teñen unha implicación activa profesorado de todas as áreas de coñecemento nas diferentes facultades e escolas do Campus de Lugo:

Facultade de Ciencias: Mercedes Novo, Wajih Al-Soufi.

Escola Politécnica Superior de Enxeñaría: Montserrat Valcárcel, Juan Luis Fernández, Francisco Javier López, Jorge Dafonte, Miguel Ángel González, Javier Cancela.

Facultade de Veterinaria: Marta López, Maribel Quiroga, Ana Paula Losada, Ramiro Barcia, Manuel Vera, Susana Sánchez, Paulino Martínez.

Facultade de ADE: Marta Portela, Begoña Barreiro.

Facultade de Formación do Profesorado: Pablo González, Carmen Caldeiro.

Facultade de Humanidades: Elena Freire, Ana Cabana.

O obxectivo de espertar as vocacións científicas entre adolescentes preuniversitarios é tan importante como o de ofrecer unha ferramenta transversal básica para a mocidade, independentemente de cal vaia ser a súa profesión nun futuro. Grazas ao método científico, os e as rapazas incorporarán intuitivamente no seu día a día **coñecementos que lles serán útiles para resolver problemas cotiáns e ter un xuízo máis atinado sobre os acontecementos, circunstancias e o mundo que os rodea.**



Figura 2. Alumnado no obradoiro “O mundo invisible das enfermidades” do Campus XuvenCiencia.

Para acadar estes obxectivos, levamos adiante as seguintes accións:

1. **Campus de verán XuvenCiencia:** talvez a actividade máis coñecida, celébrase ao principio do verán no Campus de Lugo desde 2013 e está dirixido a alumnado de cuarto da ESO e Bacharelato. As 150 prazas ofertadas esgótanse en cuestión de minutos, como as entradas dos festivais de música con máis soa e tirón. **Entre os días 28 de xuño e 4 de xullo** deste ano desenvolveremos a **oitava edición** do campus, que contará con preto dun cento de obradoiros científico-tecnolóxicos e científico-sociais e visitas, así como un completo programa de actividades de lecer a cargo de *Lumieira Acompaña* e aloxamento en residencias do campus en réxime de pensión completa, co único propósito de que resulte unha experiencia inesquecible para as e os participantes. Como novidade, vimos de modificar o proceso de admisión: a metade das prazas outorgaranse por orde de inscrición e a outra metade, por sorteo. Procuramos con esta nova medida favorecer a igualdade de oportunidades daquelas persoas interesadas que non dispoñen dunha conexión potente a internet.



Figura 3. Xornada de formación do Kit AnimalCSI para profesorado de secundaria.

2. **Xornadas para profesorado:** é un programa de formación e colaboración e está dirixido a docentes de ensino medio (ESO, BAC, FP) de toda Galicia. As e os docentes reciben unha formación homologada e case gratuíta (a matrícula na xornada serve para cubrir os gastos de manutención) en metodoloxía investigadora e, asemade, uns coñecementos específicos para traballar cos seus alumnos nos experimentos deseñados nos kits de investigación XuvenCiencia desenvolvidos no Campus Terra.
3. **XuvenCiencia na aula:** as e os docentes formados nas *Xornadas para profesorado* comezan a traballar cos seus kits XuvenCiencia nos seus colexios e institutos. Para o curso 2020/2021 serán **sete os kits** de XuvenCiencia dispoñibles e estase estudando a posibilidade de facer aínda máis flexible e virtual o programa formativo. Polo de agora, vimos de poñer en marcha un **foro** na páxina web **XuvenCiencia.org** coa idea de establecer unha canle rápida de comunicación e de resolución de dúbidas para o profesorado que está a traballar cos kits XuvenCiencia nos seus centros. Este programa, xunto coas xornadas para profesorado, ten conseguido financiamento da “Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Ciencia e Innovación” nas convocatorias 2015, 2017 e 2018.



Figura 4. Alumnado usando o Kit AnimalCSI na clase.

O **informe PISA**, a proba da OCDE que mide a calidade e as destrezas educativas dos países membros da Organización para a Cooperación e o Desenvolvemento Económicos —e que vén de ofrecer resultados ben pouco esperanzadores para o conxunto de España, non tanto así para Galicia—, adoita incidir en que na área de Ciencias os coñecementos estean asociados a unha utilidade práctica no cotián. É aí onde XuvenCiencia amosa todo o seu potencial:

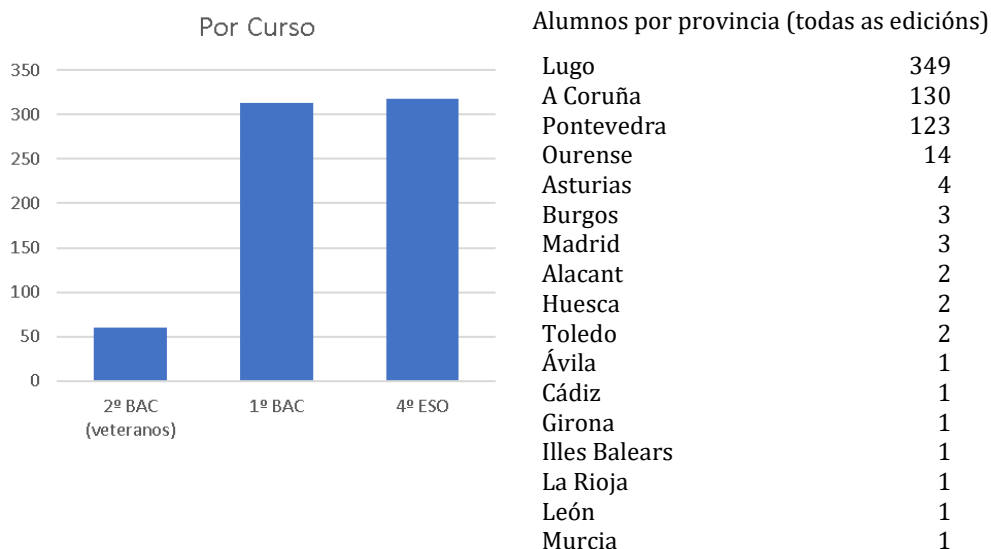
- Traballo en equipo e de xeito **colaborativo e práctico**, xa que se trata de experimentos pensados para o laboratorio e non para a clase maxistral.
- Aprendizaxe consciente do **método científico**, unha metodoloxía de traballo que serve tanto para as familias de saberes científico-tecnolóxica e biosanitaria como para a investigación en ciencias sociais e humanidades.
- Ferramentas para a **resolución de problemas**, non só para o ámbito académico, senón para calquera aspecto da vida diaria.



Figura 5. Campus XuvenCiencia: Obradoiro no Museo Provincial de Lugo.

Por unha banda, temos a experiencia do Campus XuvenCiencia, onde caben obradoiros tan diversos como o de **creación de videoxogos contra o ciberbullying**, a **análise de sales minerais nas bebidas**, **cultivos sen solo** ou a **descuberta de como a arte contemporánea emprega metodoloxía científica** para crear algunhas das súas pezas. Verán a verán, XuvenCiencia está a se consolidar como unha cita importante para os adolescentes galegos –e mesmo de fóra– que participan durante unha semana nun programa con visitas a centros agroalimentarios, tecnolóxicos e culturais e na que, sobre todo, forxan amizades para o resto da vida.

Nos Campus XuvenCiencia teñen participado desde a súa primeira edición en 2013 un total de 846 adolescentes, dos que case 200 son alumnos e alumnas veteranas que repetiron a experiencia. O 65% de todas as persoas matriculadas son rapazas e o 46% viña de cursar 4º de ESO; un 45% superara 1º de Bacharelato e o 9% restante eran estudantes de 2º de Bacharelato aos que se lles dá a opción de volver a optar a unha praza do campus.



O alumnado participante no Campus de Verán XuvenCiencia procede de todas as provincias galegas –en menor proporción de Ourense–, e tamén de fóra de Galicia (ver Figura 6). Aínda que nas primeiras edicións predominaba o alumnado de Lugo, nos últimos anos a participación de estudantes das provincias de A Coruña e de Pontevedra está a igualar a de Lugo. Ademais, grazas a un programa de intercambio coa Universidade Junior do Porto que se desenvolve dende 2016, cada ano ata cinco estudantes de Portugal participan no noso Campus XuvenCiencia. De igual modo, cinco xuvencientíficos poden optar a unha praza no amplo abano de programas da UJunior Porto.

Por outra banda, os **kits para a investigación na aula** de XuvenCiencia están deseñados por **equipos interdisciplinares** do campus de Lugo da Universidade de Santiago e teñen, asemade, unha **aplicación interdisciplinar nas clases de ensino medio**, xa que posúen actividades que harmonizan cos currículos de diferentes materias da ensinanza obrigatoria e postobrigatoria: matemáticas, tecnoloxía, física, química, bioloxía, ciencias medioambientais, xeoloxía, historia, linguas... . Do mesmo xeito, supoñen un acicate para os **clubs de ciencias** e para os centros que imparten a modalidade de **STEMBach**. Igualmente, incorpóranse actividades incluídas no programa de Avaliación de Bacharelato para o Acceso á Universidade (**Abau**), como é o caso da proposta de difracción da luz que contempla o kit *Photonics Explorer* e que resulta do máis axeitada para o estudantado de Física de segundo curso de BAC.

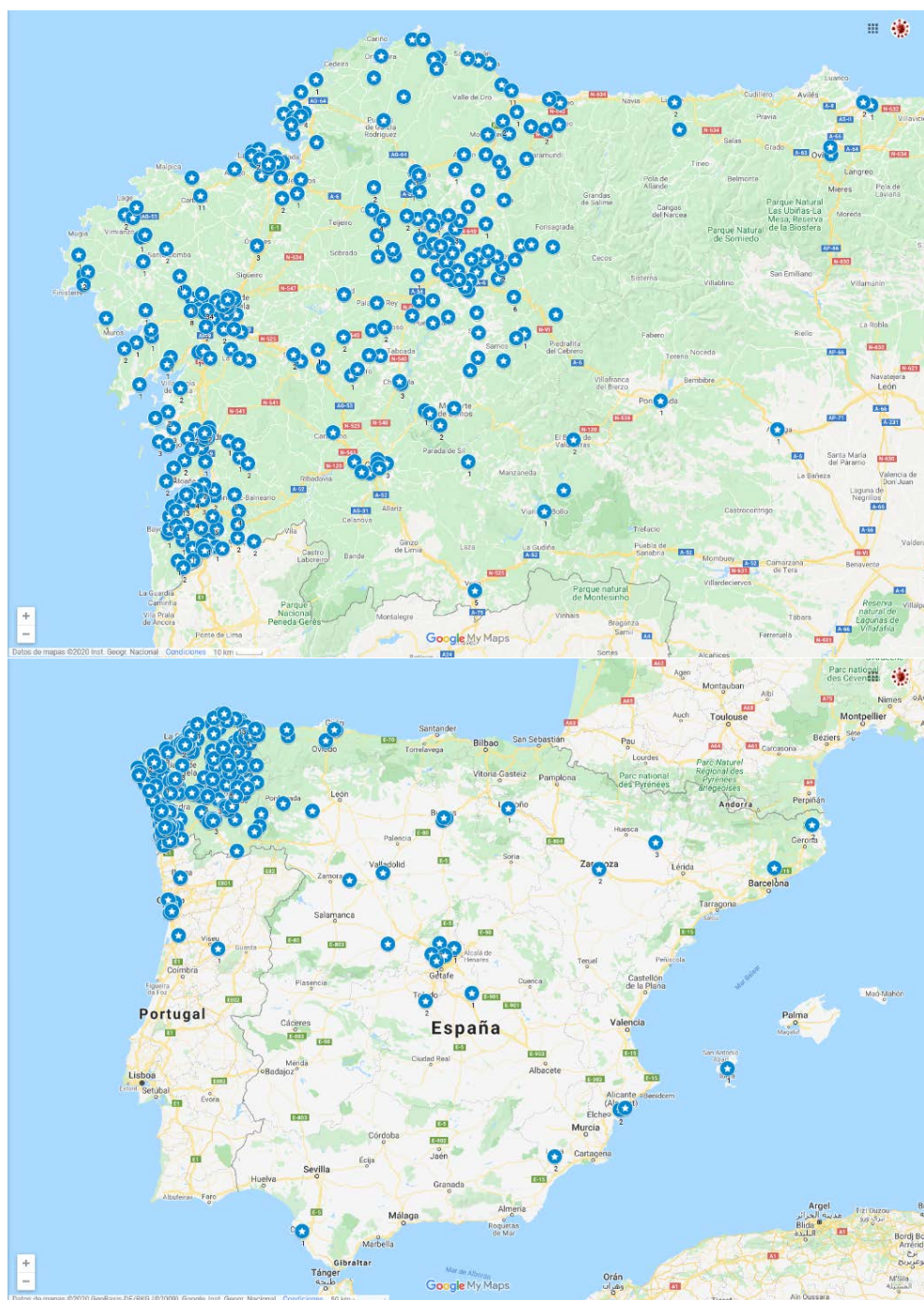


Figura 6. Distribución do alumnado do Campus de Verán por poboación. Os números indican o número de alumnado por poboación. (bit.ly/XC-MapaAlumnado).

Conscientes do lugar e do tempo, as e os integrantes do equipo de **XuvenCiencia** poñen en marcha uns kits de investigación nos que se atende de modo **transversal** algunhas das grandes diatribas contemporáneas e os **meirandes retos científicos do presente e o futuro próximo**: a emerxencia climática, a deforestación, a seguridade alimentaria e as oportunidades de desenvolvemento sostible que afectan a rexións ultraperiféricas de Europa como Galicia. Estas premisas establécense consonte ás cuestións que preocupan a cidadanía europea, segundo os **contidos sinalados no Programa Marco de Investigación e Innovación da Unión Europea Horizonte 2020**.

XuvenCiencia é unha iniciativa na que interveñen e da que se benefician profesorado universitario e de ensinanza medias e, sobre todo, alumnado de ESO, Bacharelato e Formación Profesional, que neste país moitas veces procede de contornas rurais e dispersas, nas que os sectores produtivos constitúen o principal motor económico de comarcas enteiras. Boa parte dos institutos que participan en XuvenCiencia son de áreas rurais e rururbanas.

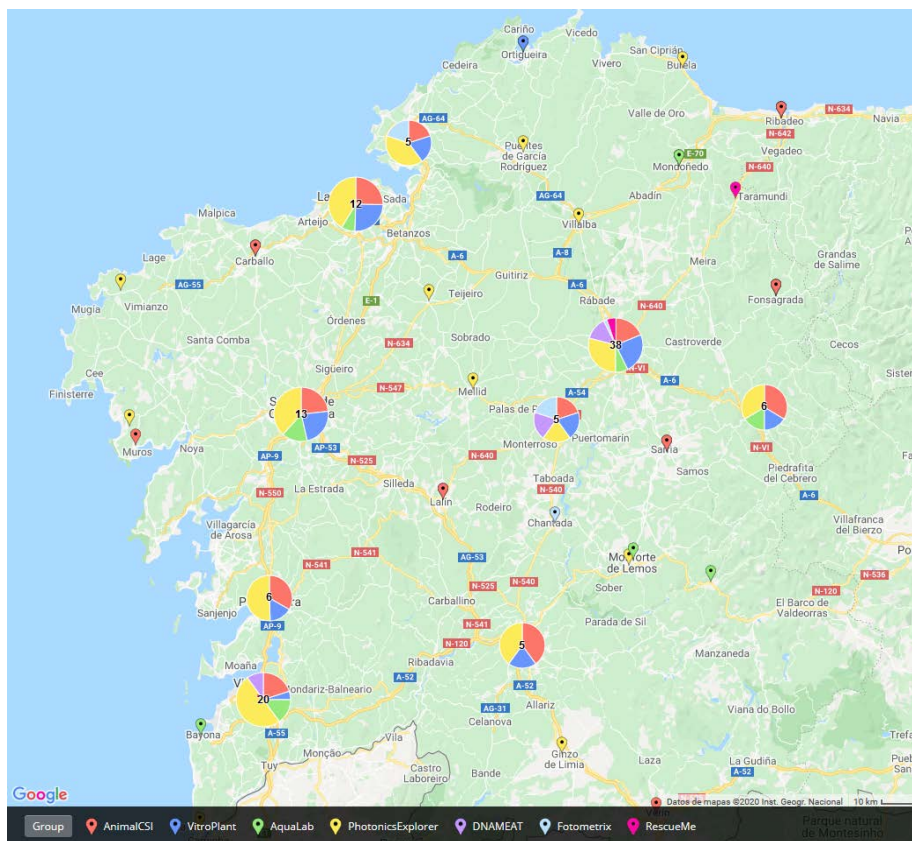


Figura 7. Distribución dos kits en centros de Galicia. (bit.ly/XC-MapaKits).

A estes e estas estudantes ofértaselles unha formación profundamente relacionada co espazo no que viven –o kit **DNA-Meat** determina se unha carne é de porco ou de tenreira mediante un test xenético e o kit **Fotometrix** detecta a cantidade de proteína do leite utilizando o método de Lowry, por exemplo. Esta circunstancia permite tres accións beneficiosas:

1. A investigación científica chega a lugares apartados dos grandes centros tecnolóxicos, académicos e financeiros e **non é preciso posuír grandes laboratorios** nin infraestruturas para realizar experimentos sofisticados.

2. O alumnado atópase con experimentos de alta ciencia que parten de **supostos facilmente comprensibles** para eles e que responden á realidade que coñecen.
3. As e os xuvencientíficos adquiren destrezas que non só lles van ser imprescindibles para os seus estudos superiores, senón que estarán aprehendendo un saber que os vai formar para que o seu futuro vital poida producirse, nunhas condicións dignas, no lugar do que proceden, **unha das rexións xeográficas máis envellecidas de Europa que se beneficiará á súa vez de mozas e mozos preparados que poidan ofrecer os seus coñecementos para o progreso do seu país** sen vérense obrigados a emigrar para atopar oportunidades de vida.

Ata o de agora, temos entregado un total de 155 kits de experimentación e 149 docentes de ESO, Bacharelato e Ciclos Formativos teñen participado nas Xornadas XuvenCiencia de formación para profesorado (Figura 7). Asemade, 66 institutos de toda Galicia teñen algún dos nosos kits.

Kit	Total de Kits	A Coruña	Lugo	Ourense	Pontevedra
Animal CSI	34	9	14	3	8
VitroPlant	29	9	17	1	2
AquaLab	17	5	7		5
Rescue Me	4		4		
Photonics Explorer	57	18	22	3	14
DNA-MEAT	10		7		3
Fotometrix	4	1	3		
Total	155	42	74	7	32

Convén resaltar o **compromiso do grupo XuvenCiencia** coa promoción de vocacións científicas, e especialmente técnicas, entre as mozas. Unha das actividades do kit **Photonics Explorer** dedícase exclusivamente a isto. Durante o presente curso, e con motivo de celebrarse o 11 de febreiro o **Día das Mulleres e as Nenas na Ciencia**, lanzamos unha actividade simultánea a través dun formulario online sobre os negos de xénero e a profesión científica, que chegou aos máis de 200 docentes de toda Galicia que teñen participado no proxecto desde os seus comezos. Asemade, grazas a unha colaboración co **CEIP Paradai de Lugo** vimos de cumprir un obxectivo longamente perseguido polo grupo XuvenCiencia, que non é outro que adaptar algunhas das nosas accións á rapazada de Infantil e Primaria. Foi posible a través dunha vintena de obradoiros que levamos a este centro lugués para conmemorar co alumnado o antedito Día das Mulleres e das Nenas na Ciencia.



Figura 8. Os sete kits de XuvenCiencia para o curso 2020/2021.

A recuperación para o curso académico 2020/2021 do kit **RescueMe**, un instrumento para a investigación en humanidades e ciencias sociais que incide na historia oral, será especialmente atractiva en centros de contornas rurais, que fronte ás grandes áreas urbanas adoitan seren custodias dunha cultura e unha lingua minorizadas. Consideramos que unha experiencia deste tipo reforza a **autoestima da comunidade** e axuda a tecer ligazóns e relación interxeracionais en lugares fortemente afectados polo envellecemento da poboación.

Kit 1: Kit Vitroplant “Multiplicación de árbores por cultivo in vitro”

Grupo de profesorado: Bioloxía e Xeoloxía. O Kit Vitroplant inclúe actividades educativas para iniciarse no cultivo in vitro de árbores. Na actualidade, o kit contén material, instrucións e táboas de recollida de datos en formato científico para realizar sete actividades: 1) obtención de explantos a partir de forzado de segmentos de póla, 2) observación e seguimento do enraizamiento in vitro con distintos tratamentos, 3) enraizamiento in vivo usando hormonas en talco, 4) observación da contaminación do cultivo en condicións non asépticas, 5) aclimatación progresiva do material propagado in vitro, 6) micropropagación mediante subcultivo e 7) desinfección de explantos e establecemento in vitro.



Figura 9. Xornada de formación co Kit VitroPlant.

Kit 2: Kit Animal CSI “Iniciación ao diagnóstico veterinario”

Grupo de profesorado: Bioloxía e Xeoloxía. Animal CSI inicia as e os estudantes no estudo da anatomía e da bioloxía celular de forma práctica. O alumnado adquire competencias básicas e científicas mediante a realización de técnicas de investigación habituais nos nosos laboratorios. Ademais de distintas preparacións e fichas de apoio, o kit contén todo o material necesario (portaobxectos, líquidos para a tintura ou cubetas para tinguir) para que os e as estudantes poidan realizar: 1) técnica de necropsia, 2) probas de diagnóstico rápido, 3) frotis sanguíneo e 4) técnica histopatolóxica.



Figura 10. Xornada de formación co Kit AnimalCSI.

Kit 3: Kit *Photonics Explorer* “Luz, cor e vida”

Grupo de profesorado: Física e Química, Tecnoloxía. Para este proxecto adaptouse o kit Photonics Explorer, desenvolvido no proxecto europeo **GoPhoton!** O kit inclúe compoñentes ópticos, como láseres, lentes, LEDs, etc., e material didáctico modular e adaptable (fichas informativas e de actividades, guías para o profesorado e material multimedia) que permiten a realización de 8 actividades por parte de 10 grupos en paralelo. Destas actividades, 4 están dirixidas a alumnado de 1º a 3º de ESO: ‘Dío con luz’, ‘A cor’, ‘Lentes e telescopios’ e ‘O ollo e a visión’, e outras 4 son de maior complexidade, para alumnado de 4º de ESO e Bacharelato: ‘Facendo luz’, ‘Difracción e interferencia’ – **incluída no programa para ABAU**—, ‘Polarización’ e ‘A ciencia como profesión’.



Figura 11. Profesorado de secundaria na xornada de formación do Photonics Explorer.

Kit 4: Kit AquaLab “Sensores de medida de humidade no solo”

Grupo de profesorado: Tecnoloxía, Bioloxía e Xeoloxía, Ciencias da Terra e do Medio Ambiente. Este proxecto baséase na realización dun balance hídrico dun solo nunha maceta. A estimación dos elementos do balance hídrico é unha parte fundamental para o coñecemento e cuantificación do ciclo hidrolóxico a escala de concas hidrográficas co fin de conseguir un uso sostible da auga. *AquaLab* incide en contidos tan esenciais como a xestión e o aforro da auga, o consumo responsable, coñecer que é un balance hídrico ou o deseño de tecnoloxías baratas e accesibles para frear o seu desperdicio.

Kit 5: Kit DNA-MEAT “Ensaio molecular de trazabilidade animal”

Grupo de profesorado: Bioloxía e Xeoloxía. O kit *DNA-MEAT* (*MEAT: Molecular Essay for Animal Traceability*) é unha ferramenta molecular que permite a identificación da presenza de dúas das principais carnes consumidas en Galicia, tenreira e porco, e introdúcelles as técnicas básicas rutinarias dun laboratorio de bioloxía molecular a estudantes de secundaria. As técnicas son: 1) extracción de ADN, 2) amplificación de fragmentos xenómicos de interese mediante a reacción en cadea da polimerasa (PCR) e 3) detección da amplificación de PCR mediante fluorescencia.

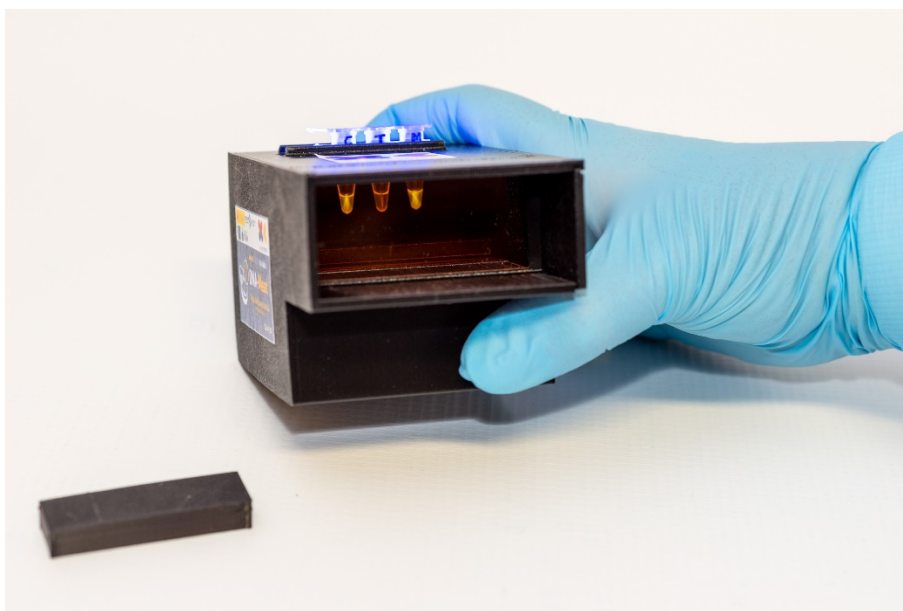


Figura 12. O visor de fluorescencia do Kit DNAMeat realizado en impresión 3D.

Kit 6: Kit Fotometrix de “Análise Fotométrica”

Grupo de profesorado: Física e Química, Bioloxía e Xeoloxía. Este kit familiariza ao alumnado coa análise química e bioquímica utilizando un fotómetro e aplicándoa á determinación analítica da proteína contida nun alimento grazas a un novidoso fotómetro móbil. As actividades do kit son as seguintes: 1) exame do fotómetro para comprender os seus fundamentos e calibración, 2) comprensión da proporcionalidade entre a absorbancia de luz e a concentración, 3) preparación dos reactivos e mostras e a medida da súa absorción, 4) realización dunha recta de calibrado utilizando unha proteína patrón e 5) determinación da concentración de proteína nas mostras de alimentos elixidas.



Figura 13. Os compoñentes do Kit Fotometrix co fotómetro.

Kit 7: Kit *RescueMe* “Pasar á Historia? Fontes orais e ciencia”

Grupo de profesorado: Linguas, Historia, Xeografía. Humanidades. Este proxecto baséase no rexistro, a nivel micro, de memoria, é dicir, a recollida e recuperación de testemuños e vivencias que acheguen datos significativos ao coñecemento histórico e cultural. Isto fai necesario o manexo das TIC como clave fundamental nun proceso de aprendizaxe experiencial. As actividades serán programadas en dous tempos: 1) entrega e explicación dos instrumentos tecnolóxicos e 2) utilización das mesmas como ferramentas de traballo co alumnado, tanto na aula como fóra dela. O kit educativo está formado polas ferramentas TIC e fichas de apoio para a realización do proxecto. Ao longo de todo o proceso créanse espazos, preferentemente virtuais, de comunidade tanto para o asesoramento técnico que poidan demandar desde os centros de ensino secundario como para o tratamento dos contidos.

Máis información: www.usc.gal/xuvenciencia, xuvenciencia@usc.es

Coa colaboración de:



FOTOS ADICIONAIS



Figura 14. Alumnado no proxecto “Árbores en tubos de ensaio” do Campus de Verán.



Figura 15. Obradoiro “Colorantes: síntese de Sudán I e cromatografía” do Campus de Verán.



Figura 16. Actividade do Campus de Verán: “Como se fai? Visitas a empresas: LARSA”.

A COSTELA DE ADÁN (Conto matemático)

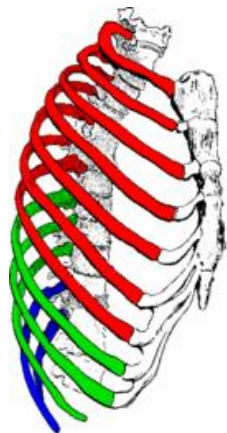
LABRANHA, ANTON

IES San Clemente

Departamento de Didácticas Aplicadas, USC.

Dixéranlle que fora feita dunha costela de Adán. Materia ósea –pensou-, dura de roer. Despois falou con Deus, que tiña feito ao Adán con arxila, branda e maleable, á súa imaxe e semellanza. Porque non nos fixeches dun anaquiño de corazón? Ti poder, podías... e desá maneira apenas teríamos que amar para sermos felices.

Chea de melancolía, Eva botou as mans a cadanseu lado do costelar e percorreu unha a unha as costelas; primeiro por diante e seguiu por atrás, contra as costas. Estaba ben magriña, o que lle facilitou o recoñecemento. Deslizando as polpas dos dedos pola pel, foi sentindo os sucus ondulantes que as costelas debuxaban no tórax do seu corpo, maxinou as olas batendo nos cantís e lembrouse núa ao abalo da marea, aquela noite de ardentía, como gamela enfeitizada que danza co mastro por primeira vez. Tivo a impresión de que a cada costela da esquerda correspondía unha da dereita, nunha perfecta simetría. Esta percepción harmoniosa reconfortouna e, sumida nela, reconciliouse co Creador.



Quixo, con todo, ter certeza, asegurarse de que non se trabucara: Polgar, índice, medio, anular e maimiño... ía pousando ensimesmada os dedos da man esquerda nesa mesma parte do costelar, seguindo unha orde tan agarimosa como estrita. Sen levantalos do sitio continuou descendendo coa outra man: Polgar, índice, medio, anular e maimiño... Mantivo, daquela, os dedos da dereita marcando os lugares, levantou a esquerda e buscou polo lombo as costelas que lle faltaban: Polgar e índice, concluíu. Repetiu na banda dereita, con idéntico resultado.

Ela non estaba sendo consciente, pero o Número acababa de nacer. Ninguén puido, nesa altura, imaxinar as consecuencias que para a humanidade había ter tal descubrimento. Só faltaba un pequeno paso, idear un símbolo por cada vez que sinalaba unha das costelas. O símbolo, mesmo podería ser un nome: un, dous, tres, catro, cinco, seis, sete, oito, nove, dez, once... doce!

Logo, máis adiante, cumpríralle concertar unha graña. Isto foi sinxelo: I, II, III, IIII, V (man), VI (a man e un dedo), VII (man e dous dedos), VIII (man e tres dedos), VIIII (man e catro dedos), VV (as dúas mans), VVI (as dúas mans e un dedo) e VVII (as dúas mans e dous dedos).

Pequenas mudanzas funcionais virían co paso do tempo: se IIII era longo, IV (un antes de completar a man) semellaba máis práctico. Xa postos, VV non acaía moi ben: un V enriba e outro abaixo era moi doado de facer: X (as dúas mans). E continúan as melloras: IX (falta un para completar as dúas mans). Coherentemente, neste xogo de posicións, chegan o XI e o XII. E desa maneira establecíase o sistema de numeración de base doce, posicional (xa que os mesmos símbolos representan cantidades diferentes ao cambiaren de sitio).

A nosa entrañable DUCIA, que tan produtiva había resultar, emerxía e inzaba a rosa dos ventos:

Que se por San Xoán asábamos unhas ducias de sardiñas. Que se na froitería comprabamos media ducia de mazás. E se tomamos unha ducia de ostras? Ou se compramos unha ducia de churriños polas festas, na Alameda. Que se imos facer tortilla para o xantar e temos que pasar polo hiper, coller unha ducia de ovos. Que se no noso aniversario levamos dúas ducias de pasteis á clase.

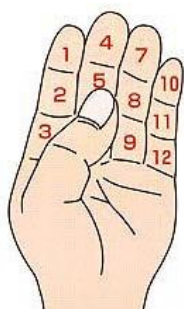
Se vai frío este inverno, que tal unha ducia de castañas asadas? Que se nos poñemos románticas e regalamos ao namorado media ducia de rosas.

Na baralla o rei é o 12 (aínda que hoxe teñamos eliminado o 8 e o 9 de cada pau e nos quedemos soamente con 10 cartas de cada).

Os reloxo de agullas marcan ata 12 horas: o día decidimos dividilo en dous períodos, un correspondendo ao ascenso do Sol, ata o mediodía –cénit-, e o outro ao descenso. Ambas as dúas metades describímolos por ducias.

Doce son os meses do ano, porque tamén doce son os ciclos lunares que caben no ano solar. Ai! Sol e Lúa, sempre rexendo o ritmo do universo.

Que se na oitava musical diferenciamos doce sons, que chamamos notas (setes básicas e cinco bemoles ou sostidos).



E que dicir do ouro, o incorruptible, do que avaliamos a súa pureza en quilates, de maneira que ao puro témoslle asignado vinte e catro (dúas ducias de quilates).

E vaites que ata un día caeu na conta que co polgar, dedo prénsil, podía percorrer todas as falanxes dos outros dedos desa mesma man. Isto proporcionounos unha economía práctica inusitada: éranos posible computar deixando libre a outra man para o que for preciso.

Asemade, a DUCIA habería cadrar moi versátil para facermos partes e reparticións: metades, terzos, cuartos e sextos dan resultados enteiros (mágoa dos quintos, pero todo non se pode pedir). Eses números serían, andando o tempo, chamados divisores.

Porén, deixemos ficar as matemáticas por un intre e volvamos ao Adán, que durmía profundamente, alleo a tanta tribulación. Coitado! pensou ela, mira ti que quitarlle unha costela. E no corpo del, Eva estreou o seu recente creado sistema de numeración. Sorpresa! Tiña doce costelas a cada lado. Non pode ser! –exclamou-. Vaia artimaña nos montaron os homes para facernos crer que éramos derivadas, secundarias, dependentes...

Entón decidiu comezar de novo a historia, a súa historia, e construírse a si propia. Sen prototipos, sen modelos. Pero non, non de arxila, que xa sabía que tal materia prima daba febles resultados, senón de po de estrelas: ceibe, lixeira, transparente...

A CONFERENCIA DO PROFESOR SCHRÖDINGER

ARMESTO RAMÓN, CONSTANTINO

*Primeiro premio no concurso de comunicación científica
do Instituto Galego de Física de Altas Enerxías IGFAE C³,
ano 2018*

A historia comezou no verán de 2006. Turista en Los Ángeles, decateime dun seminario de oito horas de duración que se vai a celebrar na Universidade de California, en Santa Cruz. Diríxese a escritores científicos e impárteno dous afamados físicos, Bruce Rosenblum e Fred Kuttner. Matriculeime. Como traballo final tiven que redactar, expoñer en público e debater un artigo de catrocentas palabras; para escribilo permitíronme usar as bibliotecas da Universidade. Na do departamento de física, onde indaguei eu, atopei un curioso documento escrito a máquina. Na portada un título “A conferencia do profesor Schrödinger”, unha firma “Stefan Zweig”, e un lugar cunha data “Santiago de Compostela 1934”; a continuación dúas páxinas escritas en alemán. No cuarto folio: “Versión de Dick Feynman”; seguíanlle dúas páxinas escritas en portugués. Só estas lin: tratábase do relato dun xogo cuxo protagonista é un experimento de mecánica cuántica. Fotografei o documento e, unha vez na miña casa, propúxenme investigar a insólita relación entre Santiago, Schrödinger, Zweig e Feynman. Comprobei que Erwin Schrödinger, Nobel de Física, pronunciou unha conferencia en Santiago de Compostela en 1934; tamén fixen traducir o texto alemán e verifiquei que era o esbozo dun conto, que contiña algunhas imprecisións físicas, que aparecían corrixidas no escrito portugués. Feynman traballou no Instituto de Tecnoloxía de California, en Pasadena a sesenta quilómetros de Santa Ana, e quen lese o libro “Está vostede de broma Mr. Feynman?” non dubidará do talante xovial do físico. Permaneceu un tempo en Brasil e alí alguén podería regalarlle o documento alemán; que el faría que llo traducisen, para modificalo posteriormente, e traducilo despois ao portugués. Ten sentido. Pero, como chegou o documento orixinal a Brasil? Zweig, vienés, conspicuo escritor e erudito ensaísta, emigrou de Europa a Brasil, onde morreu en 1942. Aínda que el podería escribir o esbozo de conto, xamais estivo en Compostela. Friderike Maria Zweig, a súa esposa, talvez? Escritora e xornalista, quizais asistiu á conferencia que pronunciou o profesor Schrödinger en Santiago, o tres agosto de 1934, e tomou notas, que máis tarde pasou ao seu marido. Con todo, os xornais da época non a mencionan. Como demostrar a súa estancia en Galicia? Propúxenme pescudar se Friderike Zweig (ou Burger ou von Winternitz) coñecía a algunha personalidade española. Un antigo alumno meu, estudante de Erasmus en Aquisgrán, axudoume no meu empeño. Previa consulta na Biblioteca Nacional Alemá informoume que Friderike Zweig coñecía a Zenobia Camprubí, escritora, profesora, cosmopolita e políglota. Era posible que unha delas ou ambas estivesen en Santiago en 1934, con motivo do XIV

Congreso dá Asociación Española para o Progreso das Ciencias e asistido á conferencia que pronunciou o profesor Schrödinger. Agora ben, unha conxectura posible non é unha conxectura certa. Talvez nos diarios de Zenobia Camprubí aparecese a mención a unha visita a Santiago, coincidindo con Friderike Zweig (ou Burger ou von Winternitz). Para pescudalo escribín á Universidade de Porto Rico, en Río Pedras, á fundación de Zenobia e Juan Ramón Jiménez, en Huelva e á Universidade de Maryland (USA), onde foi profesora. Unha doctoranda americana de literatura, da Universidade de Maryland, contestoume indicándome que, no ano 1944, Zenobia congratúlase que Friderike Maria Burger resultase ilesa dun accidente ocorrido no pazo de Oca, dez anos antes. Comprobei que tal contratempo ocorreu nos días posteriores á conferencia, e houbo un morto e varios feridos. Conclusión: o relato californiano podía ser a versión de Feynman, dun esbozo de conto de Stefan Zweig, inspirado na conferencia de Schödinger en Santiago. Non demostrei que a miña hipótese sexa certa, pero, polo menos, é posible.

Nada máis teño que engadir, salvo traducir do portugués ao galego o documento que fotografei en California.

María Salviati, unha experta física cuántica, ideou un delicioso experimento. Para facelo dispón de dúas cabanas separadas unha vintena de pasos; tamén conta coa inestimable axuda de dous mozos colaboradores de distinto sexo; e non, non se trata de dous efebos calquera; a característica que os diferencia dos demais humanos é que se comportan na súa vida habitual como os átomos, os electróns e os fotóns. A investigadora convidou a Urbano Simplicio (un físico clásico) para que actúe de observador e a Leonardo Sagredo, un contumaz escéptico, para que certifique os resultados.

- Salviati: Queridos colegas, un experimento é unha pregunta que facemos á natureza; a observación proporciónanos a resposta. Vou facer, coa vosa colaboración, tres experimentos e espero que coincidamos nas conclusións. Simplicio, pecha os ollos, por favor, porque vou preparar a primeira proba. Xa está. Podes abrílos. Nunha cabana está un mozo colaborador e na outra cabana unha moza. O experimento consiste en pescudar onde está el e onde ela. Fai a pregunta apropiada.

- Simplicio: En que cabana está o home e en cal a muller?

Salviati abre unha porta e despois a outra: os dous efebos sorrínse a distancia. Repite o experimento varias veces e sempre nunha cabana está el, na outra ela. Cando Simplicio cánsase, Salviati comeza co segundo experimento.

- Salviati: Simplicio agora tes que facer unha pregunta diferente. Nunha cabana estará a parella de efebos, a outra cabana estará baleira. O experimento consiste en pescudar que cabana está libre e cal ocupada. Pecha os ollos. Listo. Ábreos e pregunta.

- Simplicio: Que cabana está baleira e cal ocupada?

Salviati abre a porta dunha cabana na que aparecen os dous fermosos adolescentes. Despois mostra a outra cabana baleira. Repite o experimento varias veces e sempre unha das cabanas está ocupada e a outra baleira.

Simplicio quéixase, -ata agora non aprendín nada novo-.

Sagredo, que permaneceu calado ata ese momento, asente.

- Salviati: Rógovos que teñades un pouco de paciencia. Vou facer o terceiro e último experimento. Simplicio, pecha os ollos, por favor. Xa. Podes abrílos e formular a túa pregunta.

- Simplicio: Que debo preguntar agora?

- Salviati: Calquera das dúas preguntas anteriores.

- Simplicio: En que cabana está a parella?

Salviati abre a porta dunha cabana e alí está a parella abrazada. Abre a porta da outra cabana e a mostra baleira.

Simplicio medita. Rumorea, -tivo sorte-. Sorrí con suficiencia e, a continuación, di:

- Podemos repetir este último experimento?

- Salviati: Como non? Simplicio pecha os ollos, primeiro. Listo. Ábreos e fai a túa pregunta.

- Simplicio: Onde está o mozo e onde a moza?

Salviati abre unha porta e a continuación a outra: nunha cabana está el, na outra ela.

O sorriso borrouse do rostro de Simplicio. Pide repetir o experimento ata cen veces e cada vez móstrase máis sorprendido. É Salviati quen se cansa agora.

- Simplicio: Non mo explico! -Turbado diríxese a Salviati-, como sabes que pregunta vou facer antes de colocar aos mozos nas cabanas? Que trampa fas? Non podes adiviñarme o pensamento!

- Salviati: Non hai trampa, nin adiviñación algunha. Sospeito que a túa formación de físico clásico obrígache a crer que existe unha realidade independente da túa observación.

- Simplicio: Estás a dicirme que a miña observación crea a realidade? Non é posible! Ten que haber unha explicación razoable.

- Salviati: Non, non a hai; así é o mundo cuántico. Así é o noso universo.

Sagredo, o escéptico, aínda non se recuperou do susto.

