



Máster en Desenvolvemento Económico e Innovación

Traballo de fin de
máster orientación
investigadora

Mitigación do cambio
climático sen tecnoloxías de
emisións negativas:
propostas de
descarbonización de
industrias enerxeticamente
intensivas en Galicia

Alumno: Juan José Gil Fernández

Titor: Xoán Ramón Doldán García

Febreiro 2021

Folla de autorización

Traballo Fin de Máster presentado na Facultade de Ciencias Económicas e Empresariais da Universidade de Santiago de Compostela por Juan José Gil Fernández, como requisito para obter o título de Máster Universitario en Desenvolvemento Económico e Innovación.

Resumo

O cambio climático é unha das maiores ameazas ambientais, sociais e económicas que afronta a humanidade actualmente. A ameaza do cambio climático, de causas antropoxénicas, é de tal magnitude que mesmo a supervivencia do modelo de civilización humana actual está en perigo. Galicia e, en especial a industria galega, ten o seu papel na contribución ao quecemento global.

Ante esta ameaza a nivel global, iniciativas e accións a nivel global téñense adoptado nas últimas décadas. Entre elas cabe destaca-lo acordo de París, ao que está comprometida España, cuxo obxectivo é limita-lo quecemento global a menos de 2 °C por enriba de niveis preindustriais e acometer esforzos para limitalo a 1,5 °C. A maiores, varios instrumentos e iniciativas políticas téñense establecido e posto en marcha recentemente para coordinar e planifica-la descarbonización da economía na Unión Europea, en España e en Galicia. Non obstante, actualmente non existe ningunha senda ou estratexia que estableza de modo exhaustivo unhas directrices a longo prazo para descarboniza-la industria galega de forma coherente co obxectivo climático de 1,5 °C; tampouco na literatura científica. Esta investigación pretende cubrir ese vacío centrándose concretamente nas industrias intensivas enerxeticamente que rexistraron emisións de gases de efecto invernadoiro (en adiante GEI) no Rexistro PRTR (en adiante IIE galegas) por dous motivos principais: estas industrias concentraron o 84,42% das emisións GEI da industria manufactureira e o 12,88% do total de emisións GEI en Galicia no período 2015-

2019 (segundo datos do Rexistro PRTR) e, en segundo lugar, este tipo de industrias teñen recibido especial atención na literatura científica sobre descarbonización industrial recentemente, constituíndo a menudo un único obxecto de estudo conxuntamente.

O obxectivo desta investigación é, por tanto, formular unha estratexia ou senda que sente as bases e estableza as directrices para a descarbonización das IIE galegas de forma coherente coa limitación do aumento da temperatura media superficial da Terra en 1,5°C con respecto a niveis preindustriais, e facelo prescindindo de sistemas de captura e almacenamento de carbono (en adiante, CCS) e tecnoloxías de emisións negativas. Prescínlese destas tecnoloxías porque presentan riscos ambientais considerabeis, incertezas dende o punto de vista tecnolóxico e requiren un forte apoio económico e financeiro por parte dos gobernos para o seu desenvolvemento ao ritmo requerido por moitas das sendas de mitigación compatibles con 1,5°C.

Para logra-lo obxectivo proposto realízase unha investigación que consta das seguintes fases (a maiores da análise do estado da cuestión, cuxos resultados se indican no segundo parágrafo): revisión bibliográfica, recollida de información, diagnóstico da estrutura produtiva e as emisións dos complexos industriais e industrias obxecto de estudo, e formulación da estratexia ou senda de descarbonización coas súas respectivas subestratexias para cada industria.

Existe a nivel global unha diversidade de sendas ou traxectorias de mitigación compatibeis con 1,5°C que operan baixo diferentes escenarios socioeconómicos, con diferentes estratexias tecnoeconómicas para a mitigación das emisións e con distintas implicacións en termos de desenvolvemento sostíbel e impactos medioambientais en cada unha delas. Tamén se diferencian en termos de dificultade do logro do obxectivo climático indicado. Estas sendas (S1, S2, S5 e LED) están agrupadas en catro arquetipos con cadansúa dificultade no logro do obxectivo climático mencionado e cadansúa correspondencia coas Traxectorias Socioeconómicas Compartidas (en adiante, SSP), agás LED, que non está representada por ningunha SSP en exclusividade. Unha análise comparativa das

catro sendas arquetípicas en termos económicos, sociais, ambientais e tecnolóxicos foi realizada.

Tódalas sendas de mitigación compatíbeis con 1,5°C contan con transformacións importantes do modelo produtivo. Para a industria existen unha miríada de alternativas e estratexias tecnoeconómicas para a diminución das súas emisións. Estas pódense clasificar en cinco grupos: (I) transición cara fontes de enerxía de baixas emisións, (II) melloras e innovacións nos procesos industriais, (III) substitución de materiais, (IV) reducións no uso de materiais e enerxía e (V) captura e almacenamento e/ou utilización de carbono (CCS e/ou CCU) e bioenerxía con captura e almacenamento de carbono (BECCS). A senda LED consegue traxectorias de redución de emisións na industria fundamentalmente a través da diminución drástica do uso de enerxía e materiais e a través dunha transformación no suministro enerxético sen facer uso de CCS nin tecnoloxías de emisións negativas. As innovacións, cambios e melloras nos procesos industriais teñen tamén o seu papel, posibilitando en parte os cambios enerxéticos e materiais mencionados.

A senda LED é a senda que idealmente se debería perseguir nun marco de desenvolvemento humano sostíbel, como se argumenta trala revisión bibliográfica. Se ben a senda S1 tamén semella ser interesante dende o punto de vista do desenvolvemento humano sostíbel, a persecución de traxectorias coherentes con LED permite dar marxe á existencia de erros, imprecisións ou desviacións na implementación das transformacións tecnoeconómicas e sociais coherentes coa mesma sen que estes desemboquen necesariamente en escenarios de mitigación compatíbeis con 1,5°C moi desfavorabeis, altamente difíciles de lograr e con elevados riscos dende o punto de vista ambiental (como os presentes na senda arquetípica S5 e en menor medida na senda arquetípica S2). Ademais, a súa probabilidade de logralo obxectivo climático mencionado é das máis elevadas (máis do 60%), facéndoo sen sobrepaso temporal da temperatura indicada. Esta é, por tanto, a senda de mitigación a nivel global na que se decide encadra-la a senda para as IIE galegas formulada neste traballo.

Para proceder á elaboración da estratexia de descarbonización realizáronse os seguintes pasos. Como primeira fase e como paso previo á selección do obxecto de estudo elaborouse o perfil de emisións da industria manufacturera e dos complexos industriais obxecto de estudo en Galicia entre 2015 e 2019. O enfoque de análise de emisións é o de emisións directas e a fonte de información neste caso, o Rexistro PRTR, o cal se ben non contén o 100% das emisións nestes sectores, si contén o groso das súas emisións. O obxecto de estudo, definido tras esta análise sectorial de emisións, confórmano os 25 dos 42 complexos industriais pertencentes ás IIEs en Galicia que rexistran emisións GEI nesta fonte; o resto de complexos quedan por debaixo do umbral baixo o cal non se contabilizan emisións nesta fonte. Estes complexos conteñen a gran maioría dos procesos industriais e emisións GEI que teñen lugar no conxunto das IIE galegas.

En segundo lugar, como paso previo necesario para a elaboración da estratexia de descarbonización das IIEs galegas realizouse un diagnóstico da súa estrutura produtiva e emisións de CO₂. Este diagnóstico realizouse en base á seguinte información: materiais producidos, niveis de produción material en unidades físicas, consumo enerxético (por combustíbel e electricidade) en unidades físicas, procesos produtivos e focos de emisións, emisións de CO₂, intensidade enerxética material (GJ/t) e intensidade carbónica (tCO₂/t). O diagnóstico realízase tendo en conta os datos relativos á serie temporal 2015-2019, tratando así de reflexa-lo carácter estrutural de cada industria en lugar dunha foto fixa. A información necesaria para elaborar este diagnóstico obtívose principalmente por dúas vías: enquisas individualizadas a cada complexo industrial e consulta de cadansúas autorizacións ambientais integradas.

En base aos obxectivos de redución de emisións, o diagnóstico realizado e unha extensa revisión de recente literatura sobre alternativas tecno-económicas de descarbonización nas IIEs, formúlase a estratexia ou senda de descarbonización, composta por 16 subestratexias (ou estratexias sectoriais), unha por industria (considerando o termo industria como o conxunto de complexos industriais con procesos produtivos semellantes). Esta estratexia e subestratexias defínense en termos de obxectivos decenais de redución de emisións, transformacións produtivas

necesarias nas IIEs (na cantidade de materiais producidos e no modo en que se producen) e requerimentos materiais, enerxéticos e tecnolóxicos para implementar ditas transformacións. O horizonte temporal é o ano 2050.

A senda constrúese en base a certas hipóteses relativas aos niveis de produción (ou demanda) de materiais básicos e ao ritmo e orientación do progreso tecnolóxico nas próximas décadas. As hipóteses relativas ao progreso tecnolóxico permiten asumir que é posíbel (con maior ou menor celeridade) o desenvolvemento das distintas ADs non dispoñíbeis tecnoloxicamente actualmente; as hipóteses relativas á produción material permiten calcular (xunto con outras variabeis) o potencial de descarbonización (en adiante, PD) e a demanda enerxética de cada industria.

A adopción destas hipóteses realízase en coherencia cun determinado escenario social, económico e tecnolóxico; un “escenario socioeconómico” caracterizado de xeito similar ás SSP: o escenario socioeconómico subxacente trala senda de descarbonización formulada. Este escenario é equivalente ao escenario subxacente trala senda LED para a rexión Norte Global, pois esta é a senda a nivel global na que se encadra a senda para as IIEs galegas.

A estratexia ou senda de descarbonización proposta senta as bases e establece as directrices para unha descarbonización das IIEs galegas en coherencia co obxectivo climático de 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas, e faino mediante dous tipos de transformacións produtivas: reducións na produción material e cambios no modo en que se producen os materiais básicos¹; a segunda é o que se denomina “alternativas de descarbonización” (ADs) neste traballo. Estas ADs que conducen á descarbonización da IIE galega en liña co obxectivo climático de 1,5 °C consisten en innovacións de proceso, cambios nas fontes de enerxía e reducións na intensidade enerxética. Todo iso é consecuencia de cambios nos procesos produtivos das IIEs e nos modelos de consumo, cambios

¹ Ademais de materiais básicos, tamén nos estamos referindo aquí ao resto de materiais ou produtos froito de actividades secundarias nas IIEs obxecto de estudo. Para simplificar, utilízase a expresión “materiais básicos” para referirse a tódolos materiais que producen as IIEs.

que deben ir acompañados por cambios noutros sectores, como por exemplo o enerxético subministrando as fontes de enerxía requeridas polas industrias.

A transformación do modelo produtivo das IIE galegas proposta na senda de descarbonización está marcada en termos xerais por elevadas reducións na intensidade carbónica. A intensidade enerxética tamén diminúe: aínda que resulta difícil estimar esta magnitude para a maioría das industrias por ausencia (total ou parcial) de datos sobre cadanseus consumos enerxéticos, moitas das ADs propostas permiten aumenta-la eficiencia enerxética dos seus respectivos procesos. Coa evolución destas magnitudes, lógrase unha descarbonización case do 100% en 2050 para as IIE galegas nas cales se puido calcular PD sen facer apenas uso de CCU e prescindindo de CCS e tecnoloxías de emisións negativas. Para tódalas industrias para as cales foi posíbel calcular PD agás para dúas lógrase o obxectivo de descarbonización requerido en 2050: $PD=0,911$. Desas dúas, unha (industria do aceiro) achégase moito a ese valor, a outra permanece afastada (industria doutros produtos minerais non metálicos). Para as catro industrias para as cales non se puido calcular PD, as súas posibilidades de descarbonización explícanse nos estudos sectoriais; polo menos dúas delas (cemento e ferroalixes) teñen moi boas perspectivas de descarbonización sen CCU.

A transición industrial descrita no relativo á transición enerxética e carbónica lógrase mediante a implementación dun total de 40 alternativas de descarbonización. Estas ADs clasífanse en cinco grupos en función do cambio produtivo ou tecnolóxico que introducen: transición enerxética, eficiencia enerxética, substitución material, outras innovacións de proceso e CCU. Para que se poidan dar moitas destas ADs é necesario introducir innovacións (principalmente de proceso) nestas industrias. Un elemento chave e central na estratexia de descarbonización formulada é, por tanto, a innovación. Unha gran parte das ADs propostas están baseadas en tecnoloxías todavía non presentes no mercado e que requiren I+D. Isto xera unha serie de requerimentos tecnolóxicos, para os cales é necesario dedicar importantes esforzos en I+D centrados e acelera-la I+D+i a un ritmo que permita implementa-las ADs cumprindo cos obxectivos decenais de

mitigación. A I+D debe reorientarse cara ao desenvolvemento das tecnoloxías que permiten descarboniza-la IIE galega, concretamente as tecnoloxías que se detallan nesta estratexia. En liña con isto, os cambios nos procesos produtivos xerarán tamén a necesidade de contar con recursos humanos capacitados e con coñecemento para manexa-las novas tecnoloxías ou características produtivas dos procesos.

En canto aos requerimentos enerxéticos e materiais, unha identificación dos mesmos a nivel cualitativo foi realizada. Nalgúns casos tamén se puideron cuantificar; na maioría deles non, por falta de datos non subministrados polos propios complexos industriais.

Por último, un carto tipo de requerimentos da descarbonización son os de capital. Unha identificación sistemática e exhaustiva destes non foi realizada nesta investigación, pero estímase que a implementación das transformacións produtivas propostas xerará en ocasións aumentos nos custos de operación (OPEX) e requerirá en moitos casos importantes investimentos en activos fixos (CAPEX), en base ao indicado na literatura sobre ADs consultada.

A descarbonización da IIE galega en coherencia con 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas require, por tanto, profundas transformacións no modo en que se producen os materiais básicos en Galicia, así coma reducións nos niveis de produción. Como consecuencia, a descarbonización da IIE galega previsibelmente terá implicacións económicas, sociais, ambientais e políticas tanto en Galicia coma (en menor medida) en outras rexións e países. No relativo ás implicacións económicas, analízanse segundo dous tipos: axentes económicos e actividades económicas.

Ademais das propias IIEs, outros axentes económicos veranse afectados pola senda de descarbonización formulada e facilitarán ou posibilitarán a transición das primeiras. Estas implicacións son tanto de carácter intersectorial coma interterritorial. Cinco grupos de axentes implicados téñense identificado: sectores produtivos situados cara atrás na cadea de valor, sectores produtivos situados cara adiante, sociedade civil, gobernos e resto de actores do sistema de innovación

(sistema educativo e de formación, sistema de I+D, sistema financeiro, infraestruturas tecnolóxicas e empresas de consultoría).

No eido das actividades económicas, estas veranse afectadas a raíz da descarbonización das IIEs por dúas vías: cambios nos niveis de produción de materiais básicos e cambios no modo de producilos. Como se indicou previamente, en moitos casos terán que producirse innovacións para acadar estes cambios; noutros casos, as ADs baséanse en técnicas xa dispoñíbeis. En ambos casos, determinados formas de produción eliminaranse ou transformaranse ao mesmo tempo que novas formas de produción se instaurarán progresivamente na IIE galega. Isto xerará previsibelmente dinámicas de destrución creativa: destruírase (en graos variábeis) actividade económica asociada a formas de produción que progresivamente vaian quedando desfasados (as “ameazas”) e xerárase nova ou maior actividade económica vinculada a novas formas de produción ou a formas de produción actuais que sufran unha expansión (as “oportunidades”).

Este escenario abre un campo de investigación en base á determinación precisa das ameazas e oportunidades que poden xurdir coa descarbonización. Algunhas preguntas que requiren resposta son: en que medida a descarbonización das IIE galegas en liña con 1,5 °C sen tecnoloxías de emisións negativas nin CCS supón unha ameaza para a actividade económica en Galicia? Que sectores poden verse afectados? Como se poden minimiza-los danos? Por outra banda, en que medida a descarbonización supón unha oportunidade para o desenvolvemento económico en Galicia? Como se poden aproveitar de mellor modo estas oportunidades? Etc. Actividades económicas potencialmente xeradoras de riqueza en Galicia serían, por exemplo, a produción enerxética renovábel (a partir de enerxías mariñas, eólica on-shore, biomasa, enerxía xeotérmica...) e a produción de materias primas necesarias para a descarbonización (aluminio reciclado pos-consumo, carbón renovábel, macroalgas mariñas, bauxita...).

Tanto a senda de descarbonización proposta coma os impactos económicos sinalados terán previsibelmente impactos sociais, que se poden clasificar en tres tipos: (1) impactos nas persoas vinculadas laboralmente directa ou indirectamente

ás actividades económicas que se vean afectadas, (2) impactos no resto da sociedade civil vía consumo de bens e servizos que utilizan directa ou indirectamente os materiais básicos producidos en Galicia e (3) impactos nos patróns de consumo final derivados dos escenarios socioeconómicos que subxacen trala senda de descarbonización (desmaterialización, eficiencia material, economía circular e transición enerxética). Estes impactos, sobre todo dous últimos, deben entenderse a nivel suprarrexional, na medida en que a actividade económica nas IIE galegas e a produción material está vinculada con empresas e consumidores finais doutros territorios.

Posíbeis impactos ambientais, por exemplo en Galicia, deben ser advertidos con suficiente anticipación a fin de axusta-la senda de descarbonización aos límites biofísicos presentes no territorio galego. Algúns posíbeis impactos ecolóxicos que cabe investigar e prevenir derivaríanse da expansión territorial da produción enerxética renovábel ou da deforestación requerida para a produción de biomasa (como insumo para a produción de enerxía renovábel ou de materias primas coma o carbón renovábel), xa sexa forestal ou agrícola.

Outro aspecto que cabe considerar son as implicacións políticas que se desprenden da estratexia formulada. A interdependencia intersectorial e interterritorial da descarbonización das IIEs sinalada implica a necesidade de enfoques e marcos políticos tamén intersectoriais e interterritoriais á hora de planificar e cataliza-la descarbonización. Neste sentido, futuras liñas e proxectos de investigación poderían axudar a determinar estas estratexias intersectoriais complementarias para a descarbonización das IIEs. Ademais, a descarbonización da IIE galega é un proceso que debe ser coordinado e planificado intersectorialmente e con suficiente anticipación, dada a diversidade de implicacións intersectoriais que este conleva, ademais das necesidades en termos de I+D+i. En relación ao alcance máis interterritorial e incluso global, xa existe unha senda ou estratexia de descarbonización que establece as bases para a transición sistémica: a senda LED, na que se encadra a formulada para as IIE galegas. Por último, consideramos relevante destaca-la importancia dunha rápida acción esencialmente por dous motivos. En primeiro lugar, polos elevados requerimentos materiais,

enerxéticos e tecnolóxicos, moitos dos cales precisan lustros para seren satisfeitos. E, en segundo lugar, a rápida actuación permitiría unha correcta e eficiente asignación dos fondos de recuperación da crise da COVID-19.

Por último, cabe sinala-las limitacións dos resultados obtidos. Os catro tipos de limitacións que se teñen identificado refírense a: a representatividade do obxecto de estudo e os datos de emisións, o enfoque de emisións empregado, o escenario socioeconómico subxacente trala estratexia e a realización de estudos sectoriais de descarbonización. En primeiro lugar, a estratexia de descarbonización formulada e a análise sectorial de emisións directas na industria manufactureira non abarcan o 100% das emisións nin o 100% das IIE en Galicia. En segundo lugar, o enfoque de emisións directas utilizado ten limitacións á hora de considera-las interrelacións da descarbonización da economía entre sectores, as cales poderían modificar parcialmente as ADs propostas. En terceiro lugar, a senda é válida na medida en que o escenario socioeconómico subxacente trala mesma sucede nas próximas décadas. En cuarto lugar, os estudos sectoriais víronse limitados por varios factores, tanto no diagnóstico da estrutura produtiva e as emisións como na formulación das estratexias sectoriais. Os máis relevantes que se teñen identificado son: a limitada información proporcionada polos complexos industriais (taxa de resposta do 36%), certas limitacións metodolóxicas no cálculo de PD (derivadas de incertidumes nas proxeccións de produción material e na implementación das ADs) e o potencial aforro enerxético esperábel coas ADs (debido a posíbeis perdas enerxéticas non contabilizadas), e a ausencia dunha análise de PD en relación aos obxectivos decenais de redución de emisións.

As posíbeis investigacións e intervencións que poderían dar continuidade a este proxecto e fortalece-la estratexia de descarbonización formulada despréndense das implicacións económicas, sociais, ambientais e políticas sinaladas, así coma das limitacións identificadas. En xeral, consistirían na definición e determinación máis precisa destas implicacións a fin de poder: mitiga-los posíbeis efectos negativos (sociais, ambientais, económicos) da descarbonización, saca-lo máximo rendemento das oportunidades de desenvolvemento económico que se

presentan e facilita-la implementación con éxito desta estratexia; e en tratar de supera-las limitacións metodolóxicas presentes na investigación.

En conclusión, como resultado desta investigación formulouse unha senda ou estratexia para a descarbonización da IIE galega en coherencia coa limitación do aumento da temperatura media superficial da Terra en 1,5°C con respecto a niveis preindustriais sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas. Esta é a primeira estratexia formulada para descarboniza-la industria galega en coherencia co obxectivo climático de 1,5 °C e permite senta-las bases e establece-las directrices para a descarbonización das industrias intensivas enerxeticamente en coordinación coa senda global LED. A senda formulada neste traballo supón unha definición e concreción sectorial e territorial da senda LED global; é dicir, non se concibe como unha estratexia para descarbonizar as IIEs da economía galega de forma illada do resto da economía rexional, nacional e internacional. Pola contra, permite concretar sectorial (en determinadas IIEs) e territorialmente (en Galicia) esta senda global de referencia.

Índice

Resumo	1
Índice	12
Índice de abreviaturas	17
Índice de táboas	20
Índice de gráficos	22
Índice de imaxes	24
Introdución	25
1. Contextualización, xustificación e interese do traballo	25
2. Obxectivo do traballo	27
3. Estrutura e fases da investigación	28
Desenvolvemento do traballo	30
4. Estado da cuestión	30
4.1. A política en materia de descarbonización da industria galega: ámbito galego, español e europeo	32

4.1.1. A política de cambio climático da Xunta de Galicia: Estratexia Galega de Cambio Climático e Enerxía 2050	33
4.1.2. Contexto estatal e europeo: Marco Estratéxico de Enerxía e Clima e acción climática na Unión Europea	35
4.2. Achegas científicas á cuestión da descarbonización da industria galega	37
5. Marco teórico. a transición cara a neutralidade climática na industria. Escenarios, traxectorias e tecnoloxías para a mitigación compatibeis con 1,5°C .	40
5.1. Escenarios socioeconómicos e implicacións en termos de sostibilidade ambiental.....	42
5.1.1. Escenarios socioeconómicos.....	42
5.1.2. Implicacións en termos de desenvolvemento sostíbel: impactos ecolóxicos da descarbonización da economía	47
5.2. A transformación do modelo produtivo. Traxectorias tecnoeconómicas de mitigación para a industria.....	50
5.2.1. Contexto tecnoeconómico no que se desenvolve a transición industrial.....	50
5.2.2. Sendas de redución de emisións e tecnoloxías CDR.....	51
5.2.3. Estratexias tecnoeconómicas para a descarbonización industrial ..	53
5.3. Conclusións da revisión bibliográfica	63
6. Marco metodolóxico	66
6.1. Universo de estudo e datos	66
6.1.1. Universo de estudo: delimitación e caracterización	66
6.1.2. Datos	72
6.2. Métodos e técnicas. Proceso de investigación	75

6.2.1. Perfil sectorial de emisións directas na industria manufactureira en Galicia.	76
6.2.2. Diagnóstico da estrutura produtiva das IIEs en Galicia.	77
6.2.3. Elaboración dunha estratexia para a descarbonización das IIEs galegas en coherencia con 1,5°C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas.	81
7. Resultados	90
7.1. Perfil sectorial de emisións gei na industria manufactureira en Galicia .	90
7.1.1. Perfil sectorial de emisións GEI directas na industria manufactureira en Galicia	90
7.1.2. Perfil sectorial de emisións GEI directas nas IIEs galegas	93
7.2. Visión global da estratexia. Análise agregado das transformacións propostas na IIE galega	96
7.2.1. Escenario socioeconómico que subxace trala estratexia de descarbonización	97
7.2.2. Transformacións produtivas: senda de redución de emisións, alternativas de descarbonización e requerimentos enerxéticos, materiais e tecnolóxicos.....	100
7.3. Estudos sectoriais: diagnóstico da estrutura produtiva das IIEs en Galicia e formulación de estratexias sectoriais para a súa descarbonización.....	109
7.3.1. Pasta papeleira.....	111
7.3.2. Produtos petrolíferos	117
7.3.3. Gases industriais	123
7.3.4. Outros produtos básicos de química orgánica.....	127
7.3.5. Colas	131
7.3.6. Outros produtos químicos non clasificados noutra parte	132

7.3.7. Sector cerámico: azulexos, baldosas, ladrillos, tellas e produtos de terras cocidas para a construción.....	136
7.3.8. Cemento	138
7.3.9. Outros produtos minerais non metálicos n.c.n.: magnesita cáustica	147
7.3.10. Produtos básicos de ferro, aceiro e ferroalixes.....	150
7.3.11. Aluminio.....	162
7.3.12. Outros metais non férreos: industria do silicio	169
8. Discusión dos resultados: implicacións económicas, sociais, ambientais e políticas da estratexia de descarbonización.....	174
8.1. Implicacións económicas	175
8.1.1. Axentes económicos implicados na descarbonización das IIEs ...	176
8.1.2. Ameazas e oportunidades para o desenvolvemento económico en Galicia.	179
8.2. Implicacións sociais.	182
8.3. Implicacións ambientais.	184
8.4. Implicacións políticas.	185
8.4.1. A necesidade dun marco intersectorial e interterritorial. A senda LED como marco global.	185
8.4.2. A importancia dunha rápida acción: o aproveitamento dunha fiestra de oportunidade.	187
Conclusións, limitacións e ampliacións.....	189
9. Conclusións, limitacións e ampliacións.	189
9.1. Representatividade do obxecto de estudo e os datos de emisións.	191
9.2. Enfoque de emisións directas.	192

9.3. Escenario socioeconómico subxacente trala senda de descarbonización.	193
9.4. Estudos sectoriais de descarbonización.	193
Agradecementos	196
Bibliografía	197
Anexos	242
Anexo I: Complexos industriais pertencentes á IIE galega que quedan fóra do universo de estudo.	242
Anexo II: Cuestionario aos complexos industriais.	244
Anexo III: Resultados do proceso de recollida de información.	246
Anexo IV: Proxeccións de produción material. Aspectos metodolóxicos: métodos e fontes.	248
Anexo V: Inventario de alternativas de descarbonización nas IIEs galegas ...	251

Índice de abreviaturas

AAI: Autorización ambiental integrada

ADs: alternativas de descarbonización

BECCS: tecnoloxías ou sistemas de bioenerxía con captura e almacenamento de carbono

BYF: clíners belíticos que conteñen yelimita

CCS: sistemas ou tecnoloxías de captura e almacenamento/secuestro de carbono

CCSC: clíners de silicato de calcio

CCU: sistemas ou tecnoloxías de captura, almacenamento e utilización de carbono

CDR non perigosos: combustibeis derivados de residuos non perigosos

CDR perigoso: combustibeis derivados de residuos perigosos

CDR: sistemas ou tecnoloxías de eliminación de dióxido de carbono

CNAE09: Clasificación Nacional de Actividades Económicas, edición 2009

CO₂: dióxido de carbono

CO₂eq: CO₂ equivalente

CRF: Formato de Informe Común

CTE_i: coeficiente de transición enerxética de cada industria.

CTM_i: coeficiente de transición material de cada industria

DAC: sistemas ou tecnoloxías de captura directa do aire

DACCS: DAC en combinación con CCS

Dechema: Sociedade Alemana de Enxeñería Química e Biotecnoloxía

EGGCE: Estratexia Galega de Cambio Climático e Enerxía 2050

FEE_i: factor de eficiencia de cada industria

FEE_{i,AD,p}: FEE da industria de cada industria nun proceso determinado producido pola implementación de cada alternativa de descarbonización.

FM_{i,p}: factor de mitigación de proceso

FM_i: factor de mitigación de cada industria

GEI: Gases de efecto invernadero

GLN: tecnoloxía gasificación do licor negro

H₂: hidróxeno

IAMs: modelos de avaliación integrada

IIE: Industria intensiva enerxeticamente

IIE galegas: IIEs que rexistran emisións de gases de efecto invernadero (GEI) en Galicia no período 2015-2019 no Rexistro PRTR; o universo de estudo

LHT: tecnoloxía licuefacción hidrotermal da biomasa

MD_i: multiplicador de desmaterialización de cada industria.

MITERD: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

MOMS: clíngers de óxido magnésico derivado de silicato magnésico

N₂O: óxido nitroso

NFU: neumáticos fóra de uso

Mitigación do cambio climático sen tecnoloxías de emisións negativas: propostas de descarbonización de industrias enerxeticamente intensivas en Galicia

ODS: obxectivos de desenvolvemento sostíbel das Nacións Unidas

PD_i: potencial de descarbonización de cada industria

PQC: potencial de quecemento global

PRIEC: Plan Rexional Integrado de Enerxía e Clima

Rexistro PRTR: Rexistro Estatal de Emisións e Fontes Contaminantes

SDS: escenario de desenvolvemento sostíbel da Axencia Internacional da Enerxía

SNAP: Nomenclatura Seleccionada para a Contaminación do Aire

SSP: Traxectorias Socioeconómicas Compartidas

TRL: nivel de preparación tecnolóxica

ΔP_i : Taxa de variación da produción anual de cada industria.

Índice de táboas

Táboa 1: Resumo da estratexia de busca.....	31
Táboa 2: Características chave das Traxectorias Socioeconómicas Compartidas para os países de rendas altas	45
Táboa 3: IIEs e complexos industriais obxecto de estudo.....	69
Táboa 4: Senda de redución de CO ₂ proposta para as IIEs galegas (%).....	96
Táboa 5: Transición industrial das IIE galegas (2020-2050). Principais indicadores	102
Táboa 6: Inventario de requerimentos enerxéticos e materiais.....	105
Táboa 7: Requerimentos materiais anuais para XEAL na fabricación de ferrosilicio e microsílíce. AD	156
Táboa 8: Requerimentos materiais anuais para XEAL Cee na produción de ferromanganeso e silicomanganeso. AD.....	161
Táboa 9: Capacidade produtiva na industria do aluminio en Galicia (toneladas/ano)	164

Táboa 10: Requerimentos materiais anuais para Ferroatlántica de Sabón. AD..	174
Táboa 11: Complexos industriais pertencentes ás IIEs fóra do universo de estudo	242
Táboa 12: Resultados do proceso de recollida de información	246
Táboa 13: Inventario de alternativas de descarbonización nas IIE galegas, 2020- 2050	251

Índice de gráficos

Gráfico 1: Escenarios de evolución do PIB mundial a longo prazo	47
Gráfico 2: Emisións GEI na industria manufactureira en Galicia segundo o Rexistro PRTR (2015-2019)	91
Gráfico 3: Perfil sectorial de emisións GEI anuais en Galicia na industria manufactureira segundo o Rexistro PRTR (serie 2015-2019) (ktCO ₂ eq)	93
Gráfico 4: Emisións GEI anuais nas IIEs galegas segundo o Rexistro PRTR (serie 2015-2019) (ktCO ₂ eq)	95
Gráfico 5: Produción material e consumo de enerxía final. Ence Pontevedra, 2015-2019	112
Gráfico 6: Produción anual de Repsol Coruña entre 2015 e 2019 por produto petrolífero en kilotoneladas	118
Gráfico 7: Emisións de CO ₂ . Repsol Coruña, 2015-2019	120
Gráfico 8: Produción material proxectada para a industria de refinación de petróleo en Galicia por tipo de material, 2020-2050 (kt)	122
Gráfico 9: Emisións GEI en Air Liquide, 2015-2019	124

Gráfico 10: Emisións de CO ₂ . Bioetanol Galicia, 2015-2019	128
Gráfico 11: Emisións de CO ₂ . Forestal del Atlántico, 2015-2019.....	132
Gráfico 12 Emisións totais e por categoría. Arteixo Química SL, 2015-2019 (ktCO ₂)	135
Gráfico 13: Producción material e consumo enerxético en Cementos Cosmos Oural, 2015-2019	140
Gráfico 14: Emisións de combustión non bioxénicas totais e por fonte. Cementos Cosmos Oural, 2015-2019 (tCO ₂).....	141
Gráfico 15: Consumo enerxético en Magnesitas de Rubián por fonte de enerxía, ano 2016 (GJ)	147
Gráfico 16: Emisións de combustión por fonte. Magnesitas de Rubián, ano 2016 (tCO ₂)	148
Gráfico 17: Producción de ferrosilicio e fume de sílice en XEAL entre 2015 e 2019 (toneladas)	154
Gráfico 18: Producción material de XEAL Cee de ferromanganeso (FeMn), silicomanganeso (SiMn) e pasta de electrodos; período 2015-2019.....	158
Gráfico 19: Emisións de CO ₂ en XEAL Cee, 2015-2019	159
Gráfico20: Intensidade carbónica da produción total. XEAL Dumbría, 2015-2019 (tCO ₂ /t)	159
Gráfico 21: Emisións de CO ₂ en Alúmina Española, 2015-2019 (t).....	163
Gráfico 22: Emisións de CO ₂ . Alu Ibérica, 2015-2019	165
Gráfico 23: Emisións de CO ₂ . Aluminio Español, 2015-2019	166
Gráfico 24: Emisións de combustión totais e por fonte. Ferroatlántica de Sabón SLU, 2015-2019 (tCO ₂)	171
Gráfico 25: Emisións de CO ₂ de proceso por fonte. Ferroatlántica de Sabón, 2015- 2019 (%).....	172

Índice de imaxes

Imaxe 1: Traxectorias de redución e absorción de emisións no longo prazo	53
Imaxe 2: Caracterización das traxectorias de mitigación compatibeis con 1,5°C en termos de (a) enerxía final, (b) intensidade carbónica da electricidade, (c) peso relativo da electricidade na enerxía final e (d) intensidade carbónica da enerxía final non eléctrica	57
Imaxe 3: Evolución da enerxía final nas traxectorias de mitigación compatibeis con 1,5 e 2°C	60
Imaxe 4: Evolución da enerxía final nas traxectorias de mitigación compatibeis con 1,5 e 2°C	63
Imaxe 5: Esquema comparativo entre o dixestor convencional e un posíbel dixestor integrado con GLN	115

Introdución

1. CONTEXTUALIZACIÓN, XUSTIFICACIÓN E INTERESE DO TRABALLO

O cambio climático é unha das maiores ameazas ambientais, sociais e económicas que enfrenta a humanidade actualmente (Axencia Europea do Medio Ambiente, 2016). A ameaza do cambio climático, de causas antropoxénicas, é de tal magnitude que mesmo a supervivencia da civilización humana actual (industrial e posibilitada pola agricultura) está en perigo (Gowdy, 2020; Keen, 2020; Moses, 2020). As causas do cambio climático son antropoxénicas e España ten a súa parte de responsabilidade na xeración deste problema ambiental global: pertence ao grupo de 43 países que conxuntamente son responsabeis do 90% do cambio climático (Hickel, 2020a).

Ante esta ameaza a nivel global, iniciativas e accións a nivel global téñense adoptado nas últimas décadas. Entre elas cabe destaca-lo acordo de París, cuxo obxectivo é limita-lo quecemento global a menos de 2 °C por enriba de niveis preindustriais e acometer esforzos para limitalo a 1,5 °C. 195 países firmaron o acordo, entre eles España; deles, actualmente 190 siguen comprometidos ao mesmo (Organización das Nacións Unidas, 2015; United Nations Treaty Collection, 2021). Recentes estudos demostraron que, conxuntamente, os compromisos

establecidos polos países firmantes, coñecidos como Contribucións Nacionais Determinadas, non están en liña co obxectivo climático de 1,5 °C (Fawcett et al., 2015; Rogelj et al., 2016; citados por Rogelj, Shindell et al., 2018, p. 159).

A maiores deste acordo, varios instrumentos e iniciativas políticas téñense establecido e posto en marcha recentemente para coordinar e planifica-la descarbonización da economía na Unión Europea, en España e en Galicia (Boletín Oficial de las Cortes Generales, 2020; Comisión Europea, 2018c; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020b; Xunta de Galicia, 2019a). Non obstante, actualmente non existe ningunha senda ou estratexia que estableza de modo exhaustivo unhas directrices a longo prazo para descarboniza-la industria galega de forma coherente co obxectivo climático de 1,5 °C; tampouco na literatura científica. Esta investigación pretende cubrir ese vacío centrándose concretamente na industria galega intensiva enerxeticamente e, máis especificamente, naquelas industrias que rexistraron emisións no Rexistro Estatal de Emisións e Fontes Contaminantes (en adiante, Rexistro PRTR).

Dentro da industria manufactureira, a selección das IIEs como obxecto de estudo realízase por varios motivos. En primeiro lugar, estas industrias concentraron o 84,42% das emisións de gases de efecto invernadoiro (en adiante GEI) da industria manufactureira e o 12,88% do total de emisións GEI en Galicia no período 2015-2019 (segundo a análise realizada na sección 7.1. en base aos datos do Rexistro PRTR (2018a; 2018b; 2019; 2020b; 2020c). En segundo lugar, teñen recibido especial atención na literatura científica sobre descarbonización industrial recentemente, constituíndo a menudo un único obxecto de estudo conxuntamente. Por estes motivos decídese, dentro da industria manufactureira, focaliza-lo obxecto de estudo neste grupo de industrias.

2. OBXECTIVO DO TRABALLO

O obxectivo desta investigación é formular unha estratexia ou senda que sente as bases e estableza as directrices para a descarbonización das industrias intensivas enerxeticamente (en adiante, IIEs) en Galicia de forma coherente coa limitación do aumento da temperatura media superficial da Terra en 1,5°C con respecto a niveis preindustriais sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas. Esta senda ou estratexia defínese en termos de obxectivos decenais de redución de emisións, transformacións produtivas necesarias nas IIEs (na cantidade de materiais e no modo en que se producen) e requerimentos materiais, enerxéticos e tecnolóxicos para implementar ditas transformacións, con estas características sectorializadas por industria, considerando neste caso o termo industria como o conxunto de complexos industriais con características produtivas similares (esencialmente procesos produtivos semellantes). O horizonte temporal é o ano 2050.

Prescínlese de CCS e tecnoloxías de emisións negativas porque presentan riscos ambientais considerables, incertezas dende o punto de vista tecnolóxico e requiren un forte apoio económico e financeiro por parte dos gobernos para o seu desenvolvemento ao ritmo requerido. Pódese argumentar por estes motivos que esta tipoloxía de senda de descarbonización é a que idealmente se debería perseguir nun marco de desenvolvemento sostíbel: permite dar marxe á existencia de erros, imprecisións ou desviacións na implementación das transformacións tecnoeconómicas e sociais coherentes coa mesma sen que estes desemboquen necesariamente en escenarios climáticos moi adversos ou en sendas de descarbonización altamente difíciles de lograr e con elevados riscos dende o punto de vista ambiental (como os presentes na senda arquetípica S5, altamente dependente de tecnoloxías CDR, e en menor medida na senda arquetípica S2; detalladas no marco teórico). A dependencia de tecnoloxías CDR para logra-lo obxectivo climático indicado implicaría que, de fallar estas tecnoloxías como teñen apuntado algúns autores (Fuss et al., 2018; Smith et al., 2016) por factores económicos, biofísicos ou unha combinación dos dous, o obxectivo climático non se podería lograr.

3. ESTRUCTURA E FASES DA INVESTIGACIÓN

Para logralo obxectivo proposto realízase unha investigación que consta das seguintes fases. En primeiro lugar, trala análise do estado da cuestión indicado con anterioridade, realízase unha revisión bibliográfica sobre traxectorias de mitigación a nivel global compatibéis co obxectivo climático 1,5°C baixo unha diversidade de hipóteses de tipo tecnolóxico, social e económico. Identifícanse así os diferentes escenarios e estratexias tecno-económicas baixo os cales se teñen formulado recentemente sendas de descarbonización compatibéis con 1,5 °C a nivel global. En base a este marco teórico (o cal se expón na sección 5) e aos obxectivos da investigación, establécese unha metodoloxía de investigación, a cal se expón na sección 6: “Marco metodolóxico”.

Os seguintes pasos levados a cabo para formula-la senda de descarbonización para as IIE galegas coherente con 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas son os seguintes. En primeiro lugar realízase unha análise sectorial das emisións directas de GEI (o perfil sectorial de emisións, sección 7.1) na industria manufacturera desagregado por divisións CNAE09. Esta análise permite identifica-lo obxecto de estudo, as IIEs, para o cal se desagrega esta análise por complexo industrial. A continuación, realízase un diagnóstico da estrutura produtiva e as emisións GEI de cada complexo industrial e industria; expóñense os datos agregados unicamente por industria (sección 7.3). A partir deste diagnóstico e dunha extensa revisión bibliográfica elabórase a estratexia de descarbonización (sección 7.2), a cal se presenta tamén desagregada sectorialmente en 16 estratexias sectoriais, unha por industria (sección 7.3).

A investigación conclúese coa discusión dos resultados (sección 8) e as conclusións propiamente ditas (sección 9). Primeiramente, identifícanse a nivel xenérico e cualitativo as posibles repercusións ou implicacións que pode te-la estratexia formulada, tanto no ámbito económico coma no social, medioambiental e político. O traballo péchase cunha avaliación dos resultados acadados en relación aos obxectivos propostos e cunha exposición das súas limitacións e de posibles

investigacións e intervencións que poderían fortalecer a senda de descarbonización formulada.

Desenvolvemento do traballo

4. ESTADO DA CUESTIÓN.

Para coñecer-lo estado da cuestión do tema que se formulou, levouse a cabo un proceso de busca de información en bases de datos académicas, repositorios universitarios e en páxinas web de organismos oficiais entre xullo e outubro de 2020. O primeiro tipo de fontes de información utilizouse para identificar literatura científica; o segundo, para identificar as iniciativas e instrumentos políticos en materia de descarbonización que estivesen relacionados coa industria galega. Os idiomas nos que se realizou a busca foron tres: galego, castelán e inglés.

Os repositorios nos que se realizou a busca foron: Minerva (comunidade I+D+i) da Universidade de Santiago de Compostela; Investigo, da Universidade de Vigo, e RUC, da Universidade da Coruña. As bases de datos empregadas foron: Dialnet, Scopus, Business Source Premier, Web of Science e Directory of Open Access Journals. Establecéronse filtros por dúas áreas temáticas nas bases de datos: (1) economía, econometría e finanzas e (2) empresa e contabilidade. Nos repositorios, introducíronse tamén filtros pero máis amplos: filtrouse por palabras clave, utilizando para iso tódalas palabras coas que se formularon as ecuacións de busca. Outros filtros empregados foron por idioma e por zona xeográfica (España).

Alertas para cada ecuación de busca foron creadas en Scopus, Business Source Premier, Web of Science e Dialnet.

En canto ás ecuacións de busca para coñece-lo estado da cuestión dende a óptica científica, realizáronse numerosas buscas con diferentes combinacións de termos. Tras analiza-los resultados que se ían atopando, as ecuacións de busca íanse retroalimentando con novos termos, novas combinacións, diferentes campos de busca e suprimindo outros termos. Na táboa 1 recóllense os termos de busca (cos operadores de truncamento e comodíns correspondentes) que finalmente se estableceron como definatorios do tema en cuestión relacionados entre si por operadores booleanos e clasificados segundo o seu tipo: chave, alternativos, xerais, específicos e excluídos. Os termos “Galicia” e “Galiza” correspóndense con tódolos campos de busca; o resto só para resumo, palabras chave e título.

Táboa 1: Resumo da estratexia de busca	
Frase resumo	Traballos e publicacións que aborden a cuestión da descarbonización ou a transición cara a neutralidade climática e as emisións de GEI na industria galega.
Conceptos chave	(1) Galicia OR Galiza (2) (neutr* AND (climat* OR emision*))
Términos alternativos	(2) Descarboniza* OR desfosiliza* OR (transicion* AND enerx*) OR ((compensa* OR neutra* OR baix* OR pegada OR cero) AND carbono)
Términos máis xerais	(2) verde OR bioeconom* OR “economía ecolóxica” OR sustentab* OR sostib* OR sostenib* OR “economía circular” OR renovab* OR limp* OR “cambio climático” OR ((Quec?mento OR quentamento OR calentam?ento OR aquec?mento) AND global) OR (efecto invernad*) OR emisi*

Términos máis específicos	(2) Alumin* OR ferro* OR aceiro OR electr* OR químic* OR metal* OR mine* OR cement* OR recurs* OR combustib* OR carburant* OR termic* OR calor
Términos excluídos do título	turis* OR agricult* OR pesca OR “ciclo de vida”
Campos de busca	(1): Tódolos campos (2): Abstract, palabras chave e título

O proceso de filtración dos resultados obtidos mediante as buscas indicadas realizouse mediante lectura de títulos, resumos e, cando foi necesario, lectura da publicación correspondente.

Nas seguintes seccións menciónanse e/ou realízase unha breve reseña dos traballos, publicacións e demais información que se atopou mediante este proceso de busca e considerou pertinente para construí-lo estado da cuestión da temática que se aborda nesta investigación.

4.1. A POLÍTICA EN MATERIA DE DESCARBONIZACIÓN DA INDUSTRIA GALEGA: ÁMBITO GALEGO, ESPAÑOL E EUROPEO.

Antes de proceder á formulación dunha estratexia para a descarbonización da IIE galega en coherencia co obxectivo climático 1,5 °C, cómpre coñecer en que medida se teñen formulado estratexias ou iniciativas similares ademais do acordo de París xa mencionado anteriormente. Para isto analízase o ámbito rexional (Galicia), estatal (España) e internacional (Unión Europea). Resáltanse as leis e políticas máis relevantes nos tres ámbitos.

4.1.1. A política de cambio climático da Xunta de Galicia: Estratexia Galega de Cambio Climático e Enerxía 2050

No ámbito rexional (Galicia) cabe facer referencia fundamentalmente á Estratexia Galega de Cambio Climático e Enerxía 2050 (en adiante EGCCE) da Xunta de Galicia (Xunta de Galicia, 2019a). Existen tamén outras iniciativas (a Estratexia de Especialización Intelixente de Galicia, a Estratexia Galega de Economía Circular ou a Estratexia da Biomasa), mais o núcleo central no relativo á transición cara a neutralidade climática constitúeo a EGCCE, tomando as demais estratexias como adicionais e de apoio para a implementación da mesma. A EGCCE pode considerarse, por tanto, a principal estratexia de descarbonización da economía galega.

A EGCCE establece como obxectivo xeral acadar a neutralidade climática (o equilibrio entre as emisións e absorcións de gases de efecto invernadoiro de orixe antropoxénico) para Galicia como moi tarde no ano 2050. Para iso, previo diagnóstico da distribución das emisións por categorías SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution, Nomenclatura Seleccionada para a Contaminación do Aire) e ao longo do tempo (período 1990-2016), a estratexia establece 10 obxectivos específicos e 34 liñas de actuación en catro ámbitos: mitigación das emisións de gases de efecto invernadoiro; adaptación ao impacto do cambio climático; investigación e innovación sobre as consecuencias do cambio climático en Galicia e dimensión social, gobernanza e sensibilización (Xunta de Galicia, 2019a).

O diagnóstico que sustenta as actuacións propostas na EGCCE no marco da mitigación ten un escaso nivel de desagregación sectorial. Este non profundiza máis alá das tres seguintes categorías dentro da industria manufactureira: combustión en plantas industriais, procesos industriais sen combustión e uso de disolventes e outros produtos². Identifícanse diferentes medidas para estes grandes grupos de actividades contaminantes, mais non existe un diagnóstico preciso dos focos de

² Inclúese ademais a categoría “maquinaria móbil industrial”. Esta exclúese do traballo por considerarse como parte do sector transporte. En calquera caso, representa un porcentaxe moi baixo de emisións en Galicia (0,5% en 2016 segundo a EGCCE).

emisións GEI das diferentes industrias presentes en Galicia. Isto pode conlevalo risco de que as medidas plantexadas na estratexia non sexan as máis idóneas, non sexan eficientes ou non sexan eficaces para apoiar e favorece-la transformación do modelo produtivo en Galicia nas próximas décadas.

A implementación da Estratexia lévase a cabo a través de Plans Rexionais Integrados de Enerxía e Clima con horizontes temporais curtos (menos de cinco anos) nos cales se introducen medidas dentro de cada unha das liñas de actuación para contribuír á consecución dos obxectivos correspondentes. O primeiro deles ten como período de implementación o 2019-2023 e está formado por un conxunto de 170 medidas distribuídas nos catro ámbitos, nos dez obxectivos e nas 34 liñas de actuación da Estratexia (Xunta de Galicia, 2019b). As liñas de actuación da Estratexia que se refiren á descarbonización da economía galega englobanse dentro do ámbito de mitigación e do obxectivo “Reducir drasticamente as emisións de GEI” e son as seguintes (Xunta de Galicia, 2019a: 38): (1) “Implantar a cultura da eficiencia enerxética na sociedade”, (2) “Camiñar cara a un modelo enerxético baixo en emisións”, (3) “Incrementar a competitividade da industria diminuindo a súa pegada de carbono”, (4) “Aumentar as alternativas dispoñibles a favor dunha mobilidade sostible”, (5) “Converter o sector primario en hipocarbónico” e (6) “Menos residuos, menos emisións”

A estratexia de descarbonización a longo prazo da economía galega, por tanto, limítase ao establecemento destas seis liñas de actuación sen concreción de ningún tipo. A concreción das liñas realízase unicamente para un horizonte temporal curto, 2019-2023 no Plan Rexional Integrado de Enerxía e Clima (en adiante PRIEC), o cal se ampliaría ao finalizar este, cunha nova batería de medidas. Existe, por tanto, unha escasa planificación a longo prazo no que respecta ao deseño das traxectorias e follas de ruta máis axeitadas para a descarbonización industrial de Galicia.

No horizonte temporal curto, dentro do marco do PRIEC e en liña co programa político do partido que goberna Galicia con maioría absoluta (o PPdeG), as medidas para a descarbonización da industria galega enmárcanse

fundamentalmente dentro da segunda e terceira liñas de actuación e eríxense sobre dous seguintes piares: (1) aumento da produción enerxética de orixe renovábel e (2) aumentos no aforro e a eficiencia enerxética. Dentro do primeiro piar e en liña coa Estratexia de Especialización Intelixente de Galicia, o goberno da Xunta márcase como obxectivo o aproveitamento dos recursos enerxéticos endóxenos e a xeración de valor engadido a partir deles (Axencia Galega de Innovación, 2014; PPdeG, 2020). O forte investimento en I+D+i sería unha peza chave para acadar isto. Isto desembocaría, por un lado, en incrementos na xeración de electricidade e calor a partir de fontes renovabeis endóxenas -especialmente a eólica e a biomasa, pero tamén a hidráulica reversible, a solar térmica, a xeotermia e a aerotermia- e, por outro, en aumentos na produción de biocombustíbeis -concretamente, biogás e hidróxeno verde son os que reciben máis atención por parte do PPdeG-.

Como conclusión, pódese afirmar que non existe no goberno galego unha estratexia exhaustiva que estableza as directrices para descarboniza-la industria galega en consonancia co obxectivo climático de 1,5 °C. A EGCCE non é coherente coa consecución dos obxectivos climáticos mencionados por dous motivos. En primeiro lugar, marca como obxectivo a consecución da neutralidade climática en 2050, pero non unha senda de redución de emisións anual, quinquenal ou sequera decenal; por tanto non asegura que as emisións GEI en Galicia se manteñen por debaixo do presuposto en carbono correspondente. E, en segundo lugar, non establece unha directrices a longo prazo (máis alá de horizontes temporais de catro anos) de modo exhaustivo para levar a cabo unha transformación produtiva que permita descarboniza-la industria galega.

4.1.2. Contexto estatal e europeo: Marco Estratéxico de Enerxía e Clima e acción climática na Unión Europea

A nivel estatal e europeo existen varios instrumentos políticos que establecen as directrices para descarboniza-la economía. En España está o Marco Estratéxico de Enerxía y Clima e a Estratexia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (Boletín Oficial de las Cortes Generales, 2020; Ministerio para la Transición Ecológica y el

Reto Demográfico, 2019; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020b). O Marco está formado por tres instrumentos: Proyecto de Ley de cambio climático y transición energética, Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 y Estrategia de Transición Justa.

Ámbo-los dous instrumentos (Marco e Estratexia) pretenden favorece-la transformación e modernización do modelo produtivo cara a logra-la neutralidade climática en 2050, á vez que se fortalece a competitividade das empresas, se crea emprego, se minimizan os impactos sociais da transición e se fan esforzos para posicionar á economía española á vangarda da innovación, a tecnoloxía e a industria baixas en emisións. Identifícanse as principais transformacións produtivas que permitirían descarboniza-la industria manufactureira, concretamente as seguintes industrias: siderurxia, petroquímica, cemento, papel e pasta papeleira, cerámica, vidro e alimentación. Tamén se estima a demanda enerxética por fonte de enerxía necesaria para dita transición industrial.

Na Unión Europea, o marco de acción para a mitigación do cambio climático está formado por varios instrumentos políticos e legais entre os que cabe aquí destacar dous: a Lei Climática Europea e a estratexia a longo prazo “Un planeta limpo para todos: la visión estratégica europea a largo plazo para una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra”. A Lei Climática Europea establécese cos seguintes obxectivos: establecer como horizonte de transición da economía da Unión Europea a longo prazo a neutralidade climática para 2050, asegurar que a transición será eficiente dende o punto de vista económico e xusta socialmente, crear un sistema de seguimento que permita incrementa-la acción de ser necesario, ofrecer previsibilidade para inversores e outros actores económicos e asegura-la irreversibilidade do proceso de transición cara a neutralidade climática. Con esta lei, o obxectivo neutralidade de emisións en 2050 establécese como vinculante legalmente (Comisión Europea, 2020).

A estratexia a longo prazo establece a visión da Unión Europea e as opcións existentes para transforma-la economía de xeito que se acade a neutralidade climática en 2050 de forma rentábel e socialmente xusta (Comisión Europea,

2018b). Igual que ocorre no caso español, a estratexia a nivel europeo non analiza de forma exhaustiva o caso da industria galega. Non obstante, esta estratexia ofrece unha maior profundidade na identificación de tecnoloxías, alternativas económicas e elementos estruturais catalizadores da transición industrial, e faino a un nivel de desagregación superior ao da estratexia española.

Cabe resaltar varias cuestións en relación a estes dous marcos políticos (España e Unión Europea). En primeiro lugar, a senda de redución de emisións na industria non se corresponde coa necesaria para descarboniza-la industria en coherencia con 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas. En segundo lugar, a identificación de alternativas tecnoeconómicas para a descarbonización no presenta un grao de desagregación suficiente como para establecer unhas claras directrices para a descarbonización da industria galega. Por último, contéplase o uso de CCS e tecnoloxías de emisións negativas, as cales están excluídas na estratexia formulada neste traballo.

Como conclusión, os instrumentos políticos a nivel estatal e europeo actúan en certa medida como marco xeral para a descarbonización da industria galega pero non serven como directrices ou folla de ruta para descarboniza-la industria galega en coherencia co obxectivo climático de 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas nin actúan como marco político suficientemente ambicioso.

4.2. ACHEGAS CIENTÍFICAS Á CUESTIÓN DA DESCARBONIZACIÓN DA INDUSTRIA GALEGA.

A literatura científica sobre traxectorias e alternativas de redución de emisións na industria galega céntrase principalmente nas posibilidades de descarbonización do sistema enerxético³. Se ben o sistema enerxético é chave para a descarbonización da economía galega (incluída a IIE), o enfoque deste traballo non se centra nel, pois o universo de estudo se limita as IIEs cun enfoque de emisións directas (ver sección 6.1). Por este motivo e polas limitacións na extensión

³ Como traballo de referencia pode citarse (Doldán, 2015).

do traballo decidiuse non incluír estes traballos nesta sección. Algúns dos máis pertinentes, non obstante, si son citados na subsección 8.1.2 cando se abordan as previsíbeis oportunidades de desenvolvemento económico en Galicia mediante encadeamentos produtivos xerados a raíz da descarbonización das IIEs.

Os traballos académicos que se consideran máis pertinentes á hora da análise do estado da cuestión da temática que se aborda nesta investigación límitanse ao ámbito da cuantificación das emisións GEI directas na industria galega⁴. O máximo nivel de desagregación permitiu cuantificar as emisións de CO₂ de nove complexos industriais pertencentes ás IIEs (Varela, 2020). Isto fíxose con datos do Rexistro PRTR e para o ano 2018. Por tanto, a información máis detallada sobre ás emisións GEI nas IIEs en Galicia que foi sistematizada unicamente contén unha foto fixa das emisións nunha pequena parte dos complexos industriais considerados como IIE en Galicia.

Análises sectoriais de maior alcance pero menor desagregación foron feitas na década de 2000-2009 (Varela, 2004; Varela, 2008) e máis recentemente, na segunda metade da última década (Veiras, 2015; Xunta de Galicia, 2019a; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020a). As máis destacables son as de Varela Díaz en 2004, a Xunta de Galicia en 2019 e o Ministerio para a Transición Ecolóxica e o Reto Demográfico en 2020. Na primeira, se ben o nivel de desagregación sectorial é elevado (54 sectores/subsectores da economía galega), a variedade de gases de efecto invernadero non é debidamente cuberta: unicamente se abordan o dióxido de carbono (en diante, CO₂) e o óxido nítrico (en diante N₂O). Nos dous últimos, cuxa sectorialización das emisións realízase segundo as clasificacións SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution, Nomenclatura Seleccionada para a Contaminación do Aire) e CRF (Common Reporting Format, Formato de Informe Común) do Centro Temático Europeo sobre Emisións Atmosféricas da Axencia Europea do Medio Ambiente (Axencia Europea do Medio Ambiente, 1996; Richardson, 1999) e da Convención Marco das Nacións

⁴ Estudos con enfoques diferentes ao de emisións directas tamén se teñen realizado (Roibás, Loiseau e Hospido, 2017), mais non aplican neste caso porque o enfoque adoptado é o de emisións directas, como se explica na subsección 6.1.2.

Unidas sobre o Cambio Climático (UNFCCC, n.d.), respectivamente, o seu nivel de desagregación sectorial non permite identifica-las das industrias manufactureiras de acordo co sistema de contas nacionais de España. No relativo a estas industrias, a clasificación SNAP unicamente permite distinguir entre as cinco categorías indicadas nas subseccións anteriores, e a clasificación CRF que se dispón nos datos relativos a Galicia reduce a súa desagregación sectorial as seguintes categorías e subcategorías: dentro das actividades de combustión pódese distinguir entre industrias do sector enerxético e industrias manufactureiras e da construción; dentro dos procesos sen combustión coñécense as emisións para as industrias química, mineral, metalúrxica e electrónica; tamén se coñecen as emisións derivadas do uso de disolventes e produtos non enerxéticos, do uso de produtos substitutivos de sustancias que esgotan a capa de ozono e da produción e uso de outros produtos, así coma as emisións fuxitivas dos combustíbeis. Ademais destas actividades e sectores, o CRF ofrece datos de emisións para o resto de sectores da economía, os cales quedan fóra do alcance deste traballo.

A metodoloxía que máis se aproxima ao cálculo de emisións por rama de actividade é a das Contas de Emisións, dispoñíbel con datos a nivel español pero non para as comunidades autónomas. Nesta estatística, clasifícanse os datos sobre emisións de GEI por ramas de actividade económica e fogares por divisións CNAE09 (dous díxitos) tal e como se rexistran estes sectores no Sistema de Contas Nacionais (INE, n.d.).

En conclusión, semella existir un vacío na literatura científica no referente á identificación de propostas, vías ou estratexias para a descarbonización das IIEs en Galicia dende o punto de vista das emisións directas. En canto á caracterización das emisións GEI, ata a data de hoxe non temos constancia de que se teña realizado recentemente ningunha análise que permita cuantificar nunha serie temporal a importancia das IIEs en Galicia en termos de emisións GEI en comparación co resto da industria manufactureira e co resto da economía, e das diferentes IIEs entre si.

5. MARCO TEÓRICO. A TRANSICIÓN CARA A NEUTRALIDADE CLIMÁTICA NA INDUSTRIA. ESCENARIOS, TRAXECTORIAS E TECNOLOXÍAS PARA A MITIGACIÓN COMPATIBEIS CON 1,5°C.

Unha boa cantidade e variedade de estudos científicos teñen formulado recentemente diferentes traxectorias de mitigación a nivel global compatibeis co obxectivo climático 1,5°C baixo unha diversidade de hipótesis de tipo tecnolóxico, social e económico, segundo se indica en (Rogelj et al., 2018)⁵. Estes traballos, construídos maioritariamente a partir de Modelos de Avaliación Integrada (en adiante IAMs), abarcan a gran maioría das opcións de mitigación dende o punto de vista da produción a nivel de proceso e consideran unha serie de variabeis tecnolóxicas, sociais e económicas como hipótesis de partida (Rogelj et al., 2018). A análise e caracterización das sendas de mitigación compatibeis con 1,5°C realizada nesta sección inclúe as publicadas ata 2018, ano no que se publica o informe do IPCC relativo ao 1,5°C de quecemento global.

En comparación co obxectivo climático de limita-lo quecemento global a 2°C, as transformacións requeridas na economía son cualitativamente similares. A diferenza estaría na intensidade e rapidez coa que terían lugar nas próximas décadas. As reducións adicionais de emisións nas sendas compatibeis con 1,5°C en comparación coas compatibeis con 2°C terían lugar maioritariamente nos sectores industria e transporte (Rogelj et al., 2018: 95, 112)

Estes traballos demostran que non hai unha soa curva de redución de emisións compatíbel co obxectivo climáticos de 1,5°C, premisa que aplica idénticamente para o caso da industria. A consecución dos obxectivos climáticos depende do cumprimento co presuposto en carbono dispoñíbel para cada un dos escenarios de aumento de temperatura. O cumprimento con estes presupostos

⁵ Unha ampla revisión de literatura realízase no informe especial do IPCC sobre 1,5°C, que identifica unha importante cantidade e variedade de traballos nos que se propoñen sendas de mitigación compatibeis con 1,5°C. Estes son: (Akimoto, Sano e Tomoda, 2018; Bauer et al., 2018; Bertram et al., 2018; Grubler et al., 2018; Holz, Siegel, Johnston, Jones e Sterman, 2018; Kriegler et al., 2018; Liu, Fujimori, Takahashi, Hasegawa, Su e Masui, 2018; Löffler et al., 2017; Luderer et al., 2018; Marcucci, Kypreos e Panos, 2017; Rogelj et al., 2015; Rogelj et al., 2018; Strefler, Amann, Bauer, Kriegler e Hartmann, 2018; Su et al., 2017; Van Vuuren et al., 2018; Vrontisi et al., 2018; Zhang, Fujimori e Hanaoka, 2018.

pode realizarse con diferentes niveis de redución das emisións nos distintos sectores da economía e distintas combinacións tecnolóxicas. Por exemplo, a industria pode diminuír de forma ambiciosa as súas emisións ou ter unha menor ambición e incrementa-lo uso de CDR ou a diminución das emisións noutros sectores. Ademais, a consecución dos obxectivos climáticos pode ter lugar con sobrepaso temporal das temperaturas establecidas como obxectivo ou non. Por exemplo, se o obxectivo é acadar un aumento de temperatura de 1,5°C con respecto a niveis preindustriais, é posíbel acadar este aumento coa superación desta temperatura durante un tempo limitado, sempre e cando esta volva a reducir ata 1,5°C (Rogelj et al., 2018).

Dada a complexidade de variabeis e características das sendas de mitigación compatibeis con 1,5°C, procede simplifica-lo seu análise mediante a utilización de catro sendas arquetípicas con cadanseu nivel de dificultade no logro do obxectivo climático. Esta simplificación vai en concordancia cos tres patróns de desenvolvemento socioeconómico descritos na subsección 5.1.1. e cos tres niveis de dificultade para logra-lo obxectivo climático de 1,5°C. As sendas arquetípicas reciben o nome de S1, S2, S5; empregando outra a maiores para representar un desenvolvemento tecnoeconómico alternativo non reflexado nos tres escenarios socioeconómicos: a senda LED (Rogelj et al., 2018). Outra senda compatíbel con 1,5°C (Jacobson et al., 2017) existe tamén, mais déixase fóra do traballo por non ter sido analizada exhaustivamente mediante modelaxe de sendas de mitigación global (Rogelj et al., 2018).

Para proceder á súa caracterización sistematízanse en catro elementos estruturais os seus rasgos máis pertinentes en relación aos obxectivos deste traballo: dificultade para logra-lo obxectivo climático desexado, contexto socioeconómico baixo o que suceden, transformacións tecnoeconómicas requiridas para a mitigación e implicacións en termos de desenvolvemento sostíbel.

Ademais, cómpre ter en conta que as sendas de mitigación difiren entre si na probabilidade que teñen de alcanza-lo obxectivo climático desexado e no nivel de sobrepaso temporal da temperatura desexada. Concretamente, das 90 sendas

identificadas ata 2018, nove permiten cunha probabilidade de entre o 50% e o 66% limita-lo quecemento global a 1,5°C sen sobrepaso, 44 sendas con unha probabilidade de entre 50% e 67% de limita-lo quecemento a 1,5°C con sobrepaso previo de menos de 0,1°C e 37 acadar esa temperatura con máis dun 67% de probabilidade e con sobrepaso previo de entre 0,1 e 0,4°C (Rogelj et al., 2018).

O contexto socioeconómico baixo o que suceden, as transformacións tecnoeconómicas requeridas para a mitigación e as súas relacións co desenvolvemento sostíbel son tratados en maior detalle ao longo desta sección aplicados a cada traxectoria arquetípica.

5.1. ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS E IMPLICACIÓNS EN TERMOS DE SOSTIBILIDADE AMBIENTAL.

Dada a diversidade de traxectorias de mitigación compatibeis con 1,5°C, unha pregunta chave é: cales son as traxectorias óptimas, considerando a multiplicidade de consecuencias que poden ter tanto na economía, coma na sociedade coma no medio ambiente? Non se pretende aquí dar unha resposta definitiva a esta pregunta, mais si ofrecer unha caracterización xeral das distintas sendas de mitigación nestes tres ámbitos: sociedade, economía e medio ambiente. O marco teórico das Traxectorias Socioeconómicas Compartidas (en inglés Shared Socioeconomic Pathways, en adiante SSP) será útil para o ámbito socioeconómico, mentres que a simplificación da diversidade de traxectorias de mitigación en catro arquetipos será útil para caracteriza-las interrelacións entre as mesmas e a natureza.

5.1.1. Escenarios socioeconómicos.

As combinacións de hipótesis de tipo socioeconómico que subxacen ás traxectorias de mitigación compatibeis con 1,5°C e a partir das cales se constrúen ditas traxectorias de mitigación sistematízanse en cinco escenarios ou traxectorias de desenvolvemento socioeconómico caracterizados por cadansúas

predisposicións socioeconómicas cara a mitigación e adaptación ao cambio climático (Rogelj et al., 2018). Estes escenarios socioeconómicos (SSP) representan diferentes patróns de comportamento e evolución de diferentes variabeis de tipo social, económico ou tecnolóxico; diferentes sendas ou alternativas de desenvolvemento socioeconómico, durante o que resta de século XXI a escala das grandes rexións mundiais. Refírense a características da sociedade, non do clima ou da severidade da política de mitigación do cambio climático (O'Neill et al., 2017).

Das cinco SSP, tres caracterizan os estudos sobre mitigación e tres os de adaptación, con unha delas empregada comunmente en mitigación e adaptación. Cada SSP representa diferentes niveis de dificultade na mitigación e adaptación ao cambio climático. As tres sendas socioeconómicas relativas á mitigación e cadanseus graos de dificultade son: SSP1, dificultade baixa; SSP2, dificultade media, e SSP5, dificultade baixa (O'Neill et al., 2017). Estas sendas correspóndense coas sendas arquetípicas de mitigación mencionadas anteriormente da seguinte forma: SSP1 con S1, SSP2 con S2 e SSP5 con S5. A senda LED non está representada nas SSP.

Un estudo comparativo entre as diferentes SSPs que calcula sendas de mitigación compatibeis con 1,5°C mediante seis modelos de avaliación integrada e un modelo climático simple confirma a existencia de diferentes graos de dificultade na consecución do obxectivo climático 1,5°C para as tres SSPs de mitigación (Rogelj et al., 2018). Pese a que para as tres SSPs foi posíbel atopar sendas de mitigación compatibeis con este obxectivo climático, os resultados do estudo amosan que existen máis dificultades na consecución de ditos obxectivos para SSP5 e SSP2: no primeiro caso só dous modelos de catro puideron atopar polo menos unha traxectoria de mitigación compatíbel con 1,5°C e no segundo catro de seis o fixeron. O estudo atopou sendas de mitigación exitosas nas seis alternativas de modelización empregadas para SSP1. A conclusión chave disto é que se prevé posíbel acadar o obxectivo climático de 1,5°C baixo diferentes patróns de comportamento socioeconómico ao longo deste século, que son os que caracterizan a cada unha das SSPs.

Estes patróns de comportamento socioeconómico, caracterizados por nove variabeis chave, son esquematizados na táboa 2 para os países de rendas altas (grupo de países ao que pertence Galicia (World Bank Data Team, 2019)). Cómpre dicir que se trata de proxeccións futuras, non de feitos estilizados.

Segundo estas proxeccións, as sendas de mitigación compatíbeis con 1,5°C poden darse nos países de rendas altas con baixa dificultade baixo traxectorias de desenvolvemento socioeconómico e tecnolóxico orientados fortemente á sostibilidade e á diminución das desigualdades globais, típicas da SSP1, nun contexto no que o crecemento económico perde importancia como obxectivo económico dos países de rendas altas. As principais tendencias que caracterizan este escenario son: baixo crecemento demográfico, crecemento económico per cápita medio, desenvolvemento humano e progreso tecnolóxico elevados, consumo tamén orientado á mitigación climática, estilos de vida eficientes en recursos, baixa demanda de alimentos e enerxía per cápita, converxencia económica internacional e cooperación global para a consecución dos obxectivos climáticos.

Unha dificultade media na consecución do escenario climático de 1,5°C existe para a SSP2, caracterizada nos países de ingresos altos por: crecemento demográfico medio; crecemento económico per cápita, desenvolvemento humano, progreso tecnolóxico e demanda de alimentos e enerxía per cápita medios e desiguais; estilos de vida intensivos en recursos e limitadas converxencia económica internacional e cooperación global. Nesta senda, as proxeccións futuras de desenvolvemento socioeconómico e tecnolóxico non difiren moito das tendencias observadas no último século (O'Neill et al., 2017).

Por último, as sendas de mitigación de dificultade alta (SSP5) poden darse en países de rendas altas en escenarios de desenvolvemento socioeconómico caracterizados por: crecemento demográfico relativamente baixo; elevado crecemento económico per cápita, desenvolvemento humano, progreso tecnolóxico e demanda de alimentos e enerxía per cápita; abundante consumo de combustíbeis fósiles; estilos de vida moi intensivos no uso de recursos, converxencia económica entre países e cooperación a nivel global para logra-los obxectivos climáticos. O

progreso tecnolóxico e o desenvolvemento do capital humano son as principais ferramentas nas cales se deposita a confianza para o logro da descarbonización (O'Neill et al., 2017).

Táboa 2: Características chave das Traxectorias Socioeconómicas Compartidas para os países de rendas altas			
Variábel socioeconómica	SSP1	SSP2	SSP5
Crecemento demográfico	Relativamente baixo	Medio	Relativamente baixo
Crecemento económico per cápita	Medio	Medio e desigual	Elevado
Desenvolvemento humano	Elevado	Medio e desigual	Elevado
Ritmo do progreso tecnolóxico	Elevado	Medio e desigual	Elevado
Tipo de consumo	Orientado medioambientalmente	Intensivos en recursos	Abundante en combustíbeis fósiles
Estilos de vida	Eficientes en recursos		Moi intensivos en recursos
Demanda de alimentos e enerxía per cápita	Baixa	Media e desigual	Elevada
Converxencia/Diverxencia económica entre países	Converxencia	Limitada converxencia	Converxencia
Existencia/ausencia de cooperación a nivel global	Existencia de cooperación	Limitada cooperación	Existencia de cooperación

Fonte: (O'Neill et al., 2017)

O escenario socioeconómico subxacente trala senda LED é unha mestura entre SSP1 e SSP2. As variabeis poboación, crecemento económico e ritmo do progreso tecnolóxico seguen tendencias similares ás observadas historicamente, é dicir, iguais ou similares a SSP2. A demanda de alimentos segue unha evolución similar a S1 aínda que con niveis superiores, o tipo de consumo é orientado medioambientalmente, os estilos de vida son eficientes en recursos e a demanda de enerxía é menor que nas outras tres sendas arquetípicas, con niveis en 2050 de cerca dun 40% inferiores a 2020 (Grubler, Arnulf et al., 2018; Rogelj et al., 2018).

A influencia de cada unha destas variabeis na evolución das emisións difire. Un estudo recente (Marangoni et al., 2017) avalía a sensibilidade das emisións futuras de CO₂⁶ para cinco conxuntos de variabeis chave na caracterización das SSPs: poboación, PIB per cápita, eficiencia enerxética, dispoñibilidade de combustibles fósiles e progreso en tecnoloxías enerxéticas baixas en carbono. O PIB per cápita e as melloras na intensidade enerxética resultan se-los principais determinantes das emisións futuras de CO₂ en actividades de combustión. Outro estudo (Rogelj et al., 2018) indica que a demanda de enerxía e alimentos, xunto coa severidade da política de mitigación no curto prazo, son as variabeis máis determinantes na necesidade de usar tecnoloxías de CDR para compensa-lo exceso de emisións por enriba do presuposto en carbono.

En relación ás proxeccións de crecemento económico, cabe dicir que estas poderían non ser precisas e estar sobreestimadas. Ao incorporar límites biofísicos⁷ relativos ao suministro enerxético na modelaxe macroeconómica a longo prazo, os resultados varían. A existencia de límites biofísicos no suministro enerxético son incorporados polo modelo MEDEAS ata 2050 en base ao progresivo esgotamento

⁶ O CO₂ é o GEI con maior peso relativo no total de GEI emitidos en Galicia (MITERD, 2020).

⁷ Rara vez a modelaxe macroeconómica a nivel global incorpora límites biofísicos ao suministro enerxético; os modelos máis destacables que si os teñen incorporado (Nieto, Carpintero, Miguel e de Blas, 2020) son MEDEAS (Capellán-Pérez et al., 2017) e WORLD3 (Meadows, Randers e Meadows, 2004; Meadows, Meadows, Randers e Behrens, 1972). Os traballos realizados co último non se incorporan nesta revisión de literatura debido a que se realizaron, polo menos, hai máis de 15 anos.

dos combustíbeis fósiles e á enerxía neta entregada polas fontes renovabeis. Así, o crecemento económico sería menor do pronosticado polas traxectorias de mitigación, pasando de arredor do 3,5% a partir de 2032 no escenario sen límites a valores entre 2% e 0% cando se incorporan os límites (véxase escenario GG [Green Growth, equivalente a SSP1] no gráfico 1) (Nieto, Carpintero, Miguel, & de Blas, 2020a).

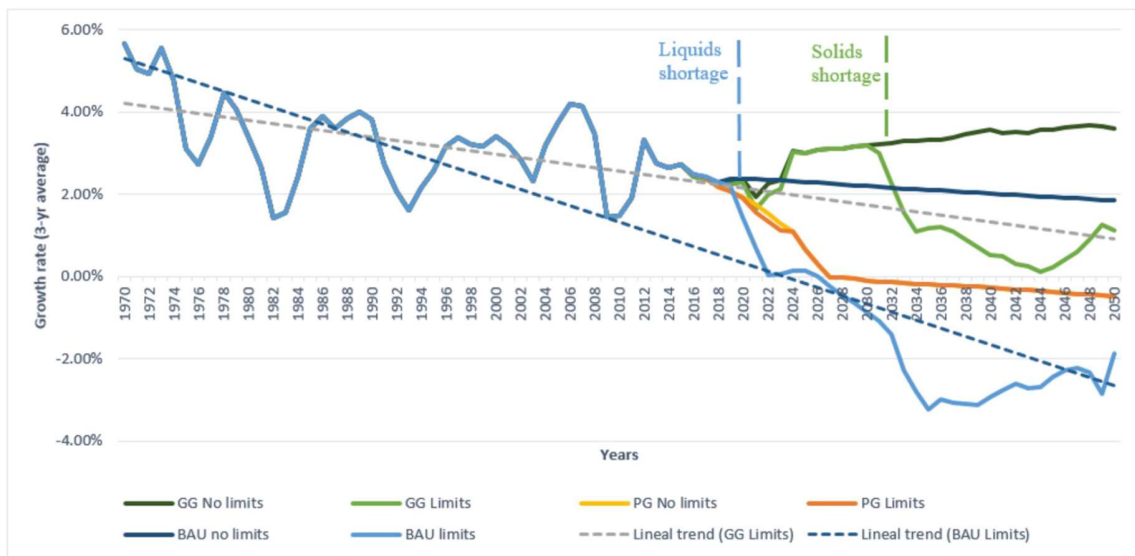


Gráfico 1: Escenarios de evolución do PIB mundial a longo prazo. Extraída de “GDP growth scenarios (3-yr mobile average)”, de Nieto et al., *Macroeconomic modelling under energy constraints: Global low carbon transition scenarios*

5.1.2. Implicacións en termos de desenvolvemento sostíbel: impactos ecolóxicos da descarbonización da economía.

As catro sendas arquetípicas permiten dar resposta a un dos grandes problemas ambientais globais: o cambio climático. Non obstante, a ecoloxía da descarbonización vai máis alá do cambio climático, polo que cómpre ter en conta en que medida as sendas indicadas teñen outra serie de impactos no medio ambiente.

Das numerosas variabeis que caracterizan cada senda de mitigación das expostas, polo menos dúas son claramente definitorias, como se detalla en

subseccións posteriores: o uso de CDR e a cantidade e calidade de enerxía consumida. Ben, pois unha certa análise multiplicidade de impactos ecolóxicos do grao e forma na que cada unha de desenvolve ten cabida neste epígrafe.

Tódalas sendas agás LED realizan uso de tecnoloxías CDR, principalmente BECCS. A maiores, moitas das sendas de mitigación compatíbeis con 1,5 °C tamén inclúen forestación e só algunhas delas DAC en combinación con CCS (en adiante DACCS). BECCS e DACCS implican almacenamento de CO₂ en xacementos de petróleo e gas case esgotados, aquíferos salinos ou leitos oceánicos. Á marxe das implicacións ecolóxicas que conleva a produción masiva de biomasa con fins enerxéticos (que constituiría a primeira fase do ciclo que ten lugar en BECCS e que é abordada xunto coas demais cuestións enerxéticas), estas tecnoloxías comportan unha serie de impactos ambientais asociados ao almacenamento de CO₂ indicado. Entre os máis destacábeis están a actividade sísmica (Nicol et al., 2013; Stork, A. L., Verdon, & Kendall, 2015) e a contaminación de aquíferos e ecosistemas oceánicos debido a fugas do carbono inxectado (Blackford et al., 2014; Pawar et al., 2015).

Por outro lado, o tipo e a cantidade de enerxía consumida por unha economía ten unha serie de implicacións ecolóxicas (ambientais, socioambientais e incluso sanitarias) que convén ter en conta. Para permitir sendas de mitigación compatíbeis con 1,5 °C, un sistema enerxético moi demandante de enerxía neutra en carbono require ou ben o despliegue a gran escala das tecnoloxías CDR indicadas, coas implicacións ambientais subxacentes, ou ben da expansión da produción enerxética renovábel e nuclear.

A problemática ecolóxica da enerxía nuclear vai dende a extracción de uranio ata á disposición dos seus residuos. A fase da extracción conleva impactos territoriais debido á destrución de ecosistemas e á exposición destes a substancias contaminantes produto da actividade de extracción. Ademais, as persoas expostas ao uranio sofren efectos negativos na súa saúde. Por outro lado, existe o risco de accidentes nas centrais, o que comporta graves consecuencias tanto no medio ambiente coma na saúde das persoas. O reactor nuclear de carta xeración podería

mitigar estes riscos pero todavía é unha incertidume a nivel tecnolóxico. Por último, os residuos nucleares son radiactivos e deben ser coidadosamente almacenados; estes requiren espazos onde permanezan seguros durante millóns de anos, o tempo que a súa radiación presenta riscos mortais (Biegert et al., 2020).

En canto ás implicacións ecolóxicas da transición cara enerxías renovabeis, se ben estas son climaticamente neutras a literatura científica indica que o seu despregue está en moitos casos relacionado coa creación de conflitos de distribución ecolóxica⁸ (Temper et al., 2020). Recentemente teñen sido identificados 649 conflitos de distribución ecolóxica arredor de proxectos enerxéticos no Atlas de Xustiza Ambiental, con elevados impactos sobre comunidades rurais e indíxenas e numerosos episodios de violencia, represión e asasinatos contra membros destes grupos sociais. Outros traballos (Zografos & Robbins, 2020) apuntan ao risco de que se produzan dinámicas de neocolonialismo e destrución ecolóxica (alteracións territoriais severas e danos a ecosistemas) nas chamadas “Zonas de Sacrificio Verde” a raíz de actividades mineiras requeridas para a extracción de minerais (coma o litio ou o cobalto) necesarios para a fabricación de tecnoloxías que posibiliten esta transición enerxética (coma as baterías nos coches eléctricos). Outros danos que se poderían considerar de menor impacto teñen sido identificados en España, por exemplo, a raíz da creación de centrais eólicas e solares, concretamente danos a determinadas especies de aves (Camina, 2012; Sanz-Aguilar et al., 2015; Serrano et al., 2020).

Outras implicacións ecolóxicas destacabeis da expansión das enerxías “limpas” que mencionamos protagonízaas a bioenerxía (biomasa e biocombustibeis). Sendas que requiran unha elevada cantidade de biomasa con fins enerxéticos en substitución de combustibeis fósiles teñen claros impactos ecolóxicos en termos de demanda de terra, auga e nutrientes (Smith et al., 2016), pois os requerimentos desta fonte de enerxía neste aspecto son elevados. Entre as

⁸ Os conflitos de distribución ecolóxica, tamén chamados conflitos socio-ambientais e conflitos ambientais, son conflitos sociais que xurden a raíz do inxusto acceso aos recursos naturais e de inxustas cargas de contaminación que se derivan dunha desigual distribución dos beneficios e custos ambientais dunha determinada actividade económica entre grupos humanos (Martínez-Alier e O'Connor, 1996).

consecuencias ambientais disto están: a perda de biodiversidade, a alteración de ciclos bioxeoquímicos, cambios masivos no uso da terra e, en último termo, cambios irreversibles no sistema planetario (Heck, Gerten, Lucht, & Popp, 2018); ademais dos conflitos de distribución ecolóxica antes sinalados, que neste caso poderían xurdir a raíz de acaparamentos de terra ou do esgotamento de reservas de auga doce.

En termos máis xerais poderíanse analiza-las interrelacións entre as sendas de mitigación e os obxectivos de desenvolvemento sostíbel das Nacións Unidas (en adiante ODS), mais unha avaliación precisa desta cuestión non a temos identificado polo de agora. O último informe do IPCC sinala que as sendas S1 e LED son as que máis sinerxias positivas e menos efectos compensatorios conlevan; S5, pola contra, ten sido identificada como a que maiores efectos compensatorios xera, isto é, os logros climáticos implican perdas noutros ODS (Rogelj et al., 2018, p. 157). As claves parecen estar no control da demanda (de enerxía, alimentos...), nos estilos de vida sostíbeis, dietas saudables e limitado uso de CDR.

Estas últimas afirmacións resultan coherentes co coñecemento científico máis recente relacionado en parágrafos anteriores: LED é unha senda que prioriza a redución da demanda enerxética e prescinde de tecnoloxías CDR; tanto a transición enerxética coma o uso extensivo de tecnoloxías de captura e almacenamento de carbono comportan riscos socioambientais considerables. Pola súa parte, S1 fai un uso limitado de tecnoloxías CDR e presenta unha senda decrecente de demanda de enerxía final, segundo se indica na seguinte subsección.

5.2. A TRANSFORMACIÓN DO MODELO PRODUTIVO. TRAXECTORIAS TECNOECONÓMICAS DE MITIGACIÓN PARA A INDUSTRIA.

5.2.1. Contexto tecnoeconómico no que se desenvolve a transición industrial.

Nas catro sendas arquetípicas de mitigación a contribución da industria á mitigación do cambio climático debe ir acompañada por transformacións no conxunto dos sistemas económico, enerxético e terrestre para lograr limita-lo

quecemento global a 1,5°C. Todas elas comparten certos elementos comúns, que convén ter presentes durante a análise particular do sector industrial. Estes son (Rogelj et al., 2018):

- Rápida e forte descarbonización do subministro enerxético no curto prazo
- Fortes reducións na demanda de enerxía final
- Elevada electrificación do consumo final de enerxía, especialmente no transporte e no sector residencial.
- Elevada redución das emisións de CO₂ na década de 2020.
- Importantes cambios nos patróns de investimento cara activos baixos en carbono, diminuindo os investimentos en combustíbeis fósiles.
- Existencia de sinerxias entre a mitigación climática e o desenvolvemento sostíbel
- Gran despliegue de sistemas de eliminación de dióxido de carbono (en adiante, CDR, polas súas siglas en inglés)

Na última característica (o gran despliegue de sistemas de eliminación de CDR) cómpre pararse (na subsección 5.2.2.) dadas as incertezas e riscos que presenta esta tecnoloxía ou conxunto de tecnoloxías.

5.2.2. Sendas de redución de emisións e tecnoloxías CDR

A evolución das emisións no que queda de século ocorre seguindo diferentes traxectorias en cada unha das sendas de mitigación, mais en tódalas traxectorias de mitigación avaliadas polo IPCC as tecnoloxías CDR teñen un papel chave, variando este significativamente dunhas traxectorias a outras (Rogelj et al., 2018).

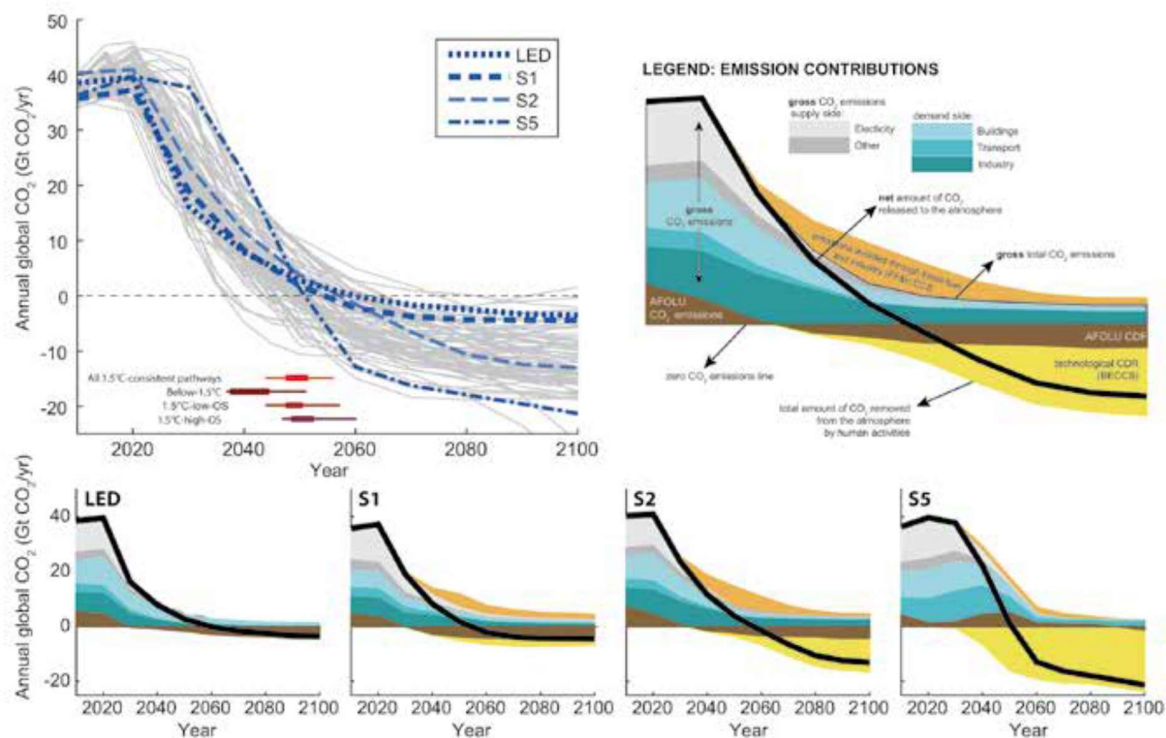
Existen numerosas tecnoloxías de CDR, as principais son (de Coninck et al., 2018; DiEM25, 2019): captura e almacenamento/secuestro de carbono (en adiante CCS); bioenerxía con captura e almacenamento de carbono (en adiante BECCS); captura, almacenamento e utilización de carbono (en adiante CCU); captura directa do aire (en adiante DAC); fertilización do océano; meteorización aumentada e biocarbonización. Estas tecnoloxías non teñen sido desplegadas a gran escala

todavía e o seu despliegue á escala requerida por moitas das traxectorias compatíbeis con 1,5 °C semella irrealista debido a condicionantes económicos e biofísicos (Fuss et al., 2018). Dende o punto de vista tecnolóxico, tamén existen serias dúbidas de que se poidan implementar ao ritmo requerido por moitas das sendas de descarbonización, especialmente polos longos períodos de tempo necesarios para desenvolver e desplegar estas tecnoloxías (Nemet et al., 2018).

Dentro dos IAMs que debuxan sendas compatíbeis con 1,5 °C, a tecnoloxía máis empregada sería BECCS (Rogelj et al., 2018), dada a insuficiente información sobre o resto coa que se contaba entón, o que non quere dicir que sexa a única posíbel ou desexábel. A maiores, moitas das sendas de mitigación compatíbeis con 1,5 °C tamén inclúen forestación e só algunhas delas DAC en combinación con CCS (en adiante DACCS).

A demanda de enerxía e alimentos, xunto coa severidade da política de mitigación no curto prazo, son as variabeis máis determinantes na necesidade de usar tecnoloxías de CDR para compensa-lo exceso de emisións por enriba do presuposto en carbono (Rogelj et al., 2018).

Unha rápida e forte redución de emisións leva a unha menor ou nula dependencia das tecnoloxías de CDR nas sendas S1 e LED, respectivamente; unha menor severidade na redución das emisións leva a unha maior necesidade de uso destas tecnoloxías na senda S2 e un retraso na redución das emisións leva a unha maior implementación de tecnoloxías de CDR para acadalo obxectivo climático de 1,5°C (véxase imaxe 1) coas absorcións GEI mediante tecnoloxías CDR en cor amarela).



Imaxe 1: Traxectorias de redución e absorción de emisións no longo prazo. Extraída de “Evolution and break down of global anthropogenic CO₂ emissions until 2100”, de Rogelj et al., *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*

5.2.3. Estratexias tecnoeconómicas para a descarbonización industrial

Existen unha miríada de alternativas ou estratexias tecnoeconómicas para a diminución das emisións das IIEs no ámbito dos procesos industriais (Chan, Y. et al., 2019; Climate & Strategy Partners, 2017; Wyns, Khandekar, & Robson, 2018a). A estas hai que sumarlle as opcións baseadas na redución planificada do uso de enerxía e materiais básicos (coa correspondente redución na produción de materiais básicos) nestas industrias en termos absolutos, propostas que forman parte da esencia do Decremento (Hickel, 2020b) e da Economía Circular (Ellen Macarthur Foundation, n.d.) e reflexadas tamén no último informe do IPCC (Rogelj et al., 2018). En total, as estratexias tecnoeconómicas de mitigación pódense clasificar en cinco grupos: (I) transición cara fontes de enerxía de baixas emisións, (II) cambios, melloras e innovacións de proceso, (III) substitución de materiais, (IV)

Mitigación do cambio climático sen tecnoloxías de emisións negativas: propostas de descarbonización de industrias enerxeticamente intensivas en Galicia

reducións no uso de materiais e enerxía e (V) captura e almacenamento e/ou utilización de carbono (CCS e/ou CCU) e bioenerxía con captura e almacenamento de carbono (BECCS). Verase a continuación en que consiste e que posibilidades ofrece cada unha delas.

I) Transición cara fontes de enerxía baixas en carbono

A diminución das emisións derivadas de actividades de combustión no conxunto da economía de acordo con traxectorias de mitigación consistentes co obxectivo climático de 1,5°C require o incremento da produción enerxética de baixas emisións (incluíndo renovables, nuclear e/ou combustibles fósiles con CCS) e maila redución progresiva dos combustibles fósiles sen CCS que entran ao sistema enerxético. Adicionalmente, unha maior electrificación do consumo de enerxía final resulta decisiva para lograr estes obxectivos.

A nivel global, o peso das distintas fontes enerxéticas no subministro enerxético varía en función da traxectoria de mitigación. Nas traxectorias sen sobrepaso ou con limitado sobrepaso (menor de 0,1°C), a participación das enerxías renovables no total de enerxía primaria sitúase entre o 38-88% en 2050 e a utilización de enerxía procedente da biomasa en combinación con CCS aumenta significativamente (en promedio 1,71 veces) con respecto a 2020 nas traxectorias nas que se utiliza CCS. Na maioría das traxectorias, a enerxía nuclear aumenta tamén a súa participación, aínda que existen traxectorias nas que o seu uso diminúe, tanto en termos absolutos coma relativos. Por último, nas traxectorias con maior uso de gas natural e carbón impleméntanse sistemas de CCS para contrarresta-la súa pegada de carbono (Rogelj et al., 2018).

A electrificación do subministro enerxético no conxunto da economía mundial acadará o rango 34-71% en 2050 nas diferentes traxectorias de mitigación (non só arquetípicas) para 1,5°C, duplicando os valores de 2020 na maioría delas, e a intensidade en carbono da enerxía eléctrica descende drasticamente: dende valores de arredor de 140 gCO₂MJ⁻¹ en 2020 ata o rango [-92, 11] gCO₂MJ⁻¹ en 2050. En canto á procedencia desta electricidade, as fontes renovables incrementan o seu peso ata o 59-97% en 2050, sendo a eólica, a solar e a da biomasa as fontes con

maior contribución. A xeración eléctrica a partir de combustíbeis fósiles diminúe ata o rango 0-25% no mesmo ano (Rogelj et al., 2018).

Para o caso particular dun país ou rexión, o peso relativo de cada fonte de enerxía variará en función dos seus recursos endóxenos. Un país do sur de Europa terá máis potencial en enerxía solar ca un país báltico; e un país que dá ao mar terá máis potencial en enerxías mariñas ca un país de Europa central. Polo tanto, non existe unha distribución das distintas fontes de enerxía no mix enerxético óptima para tódolos países ou rexións do mundo. Mediante diferentes combinacións de fontes de enerxía neutrais en carbono no mix enerxético poden acadarse traxectorias de mitigación consistentes con 1,5°C.

As fontes de enerxía renovabeis coñecidas actualmente son: eólica; solar (térmica e fotovoltaica); xeotérmica; mareomotriz, undimotriz e outras oceánicas; hidroeléctrica; biomasa; gas de vertedoiro; gas de depuradora e biogás (Comisión Europea, 2018a). Poden converterse en electricidade, calor ou carburante.

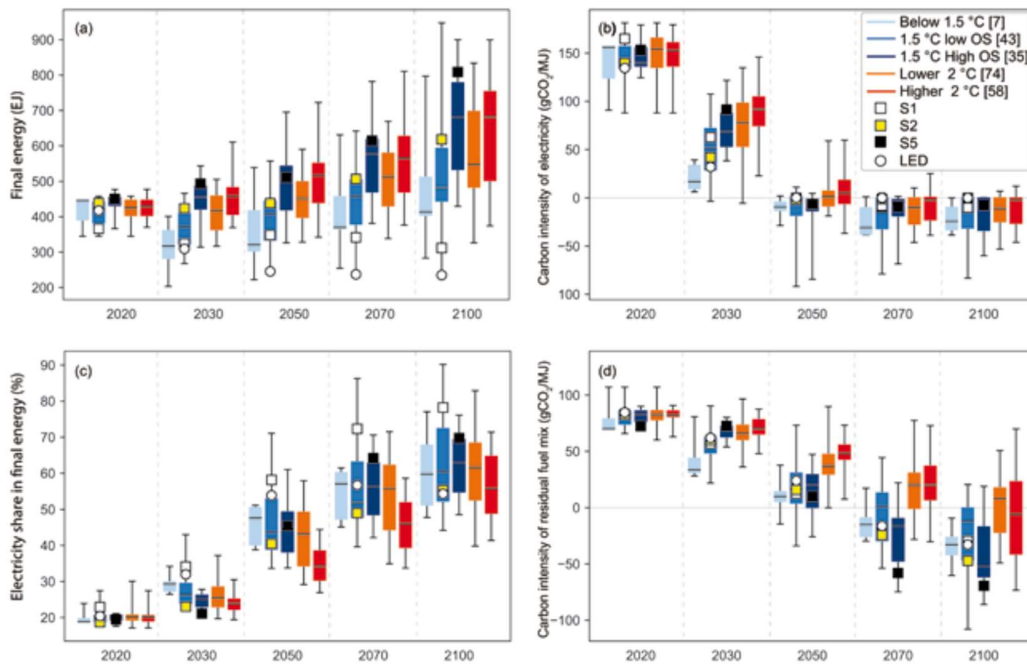
Catro parámetros idóneos para medir e planificar ditas traxectorias no que respecta ao conxunto do sistema enerxético son: enerxía final, intensidade carbónica da electricidade, intensidade carbónica da enerxía final non eléctrica e peso relativo da electricidade na enerxía final (Rogelj et al., 2018). Acompañada por unha redución drástica da demanda de enerxía final ao longo do período de transición tanto na industria coma no conxunto da economía, a traxectoria LED caracterízase por unha rápida electrificación da enerxía final, chegando en 2100 a niveis moderados en comparación con S1. A intensidade carbónica na xeración eléctrica diminúe rapidamente e chega a cero en 2050 e a intensidade carbónica da enerxía final non eléctrica diminúe progresivamente ata situarse en valores negativos de 2070 en adiante, sendo en 2050 positiva.

S1 conta cunha diminución progresiva (en termos promedios) da enerxía final, pero máis moderada que LED, e unha masiva electrificación da demanda final (cerca do 60% en 2050 e do 80% en 2100). A intensidade carbónica da enerxía non eléctrica diminúe a un ritmo similar a como o fai en LED, e a intensidade carbónica

da electricidade redúcese á metade entre 2020 e 2030 e chega a 0 en 2050 (Rogelj et al., 2018).

A demanda de enerxía final en S2 e S5 aumenta no que resta de século, mais ata 2050 permanece practicamente constante en S2; o aumento en S5 é significativamente maior. A electrificación da enerxía final demórase no tempo en ambas traxectorias, aínda que con distintos desenvolvementos na segunda metade do século XXI: resulta moi ambiciosa en S5 e máis moderada en S2. A intensidade carbónica da enerxía eléctrica diminúe velozmente en S2 na primeira metade do século e lentamente en S5; na segunda metade permanece próxima a cero nas dúas, aínda que con valores negativos. A intensidade carbónica da enerxía final non eléctrica en ambas traxectorias evoluciona de xeito parecido ata 2050; en 2070 e 2100 as dúas manteñen valores negativos pero S5 moi superiores en valor absoluto; isto explícase coa moita maior aplicación de CCS (Rogelj et al., 2018).

A imaxe 2 amosa unha visión gráfica sobre as distintas magnitudes que se acaban de comentar nas diferentes sendas arquetípicas para o conxunto do sistema enerxético.



Imaxe 2: Caracterización das traxectorias de mitigación compatibéis con 1,5°C en termos de (a) enerxía final, (b) intensidade carbónica da electricidade, (c) peso relativo da electricidade na enerxía final e (d) intensidade carbónica da enerxía final non eléctrica. Extraída de “Decomposition of transformation pathways into (a) energy demand, (b) carbon intensity of electricity, (c) the electricity share in final energy, and (d) the carbon intensity of the residual (non-electricity) fuel mix”, de Rogelj et al., *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*

II) Innovacións, cambios e melloras nos procesos industriais sen combustión

As emisións de procesos sen combustión (ás veces denominadas simplemente “Emisións de proceso”) son aquelas que se producen na transformación química de materiais, por exemplo na produción de cemento ou na oxidación de coque para produción de arrabio. A través de cambios, melloras ou innovacións de proceso poderíase chegar a procesos que, para a mesma cantidade e calidade de insumo e produto, emitan menos GEI (Chan, Y. et al., 2019; Comisión Europea, 2018a; Rogelj et al., 2018).

Existen fundamentalmente dous tipos de innovacións nesta categoría: (1) innovacións nas reaccións químicas involucradas na produción de materiais básicos e (2) a substitución de insumos en procesos industriais sen combustión por outros de menor contido carbónico ou por biomasa. Esta última podería tamén clasificarse de xeito independente na seguinte categoría: “Substitución de materiais”. Un aspecto salientábel é que os requerimentos de investimento en I+D para o desenvolvemento e introdución deste tipo de innovacións adoitan seren moi elevados (Comisión Europea, 2018a; Rogelj et al., 2018).

III) Substitución de materiais

Esta vía para a redución de emisións na industria consiste na substitución de materiais produto dos procesos contaminantes por outros cuxo proceso de fabricación sexa menos intensivo en emisións. Un exemplo é a substitución do cemento por outro material que realice a mesma función e cuxo proceso de fabricación emita menos GEI có do cemento. Poderían aquí incluírse tamén as innovacións ou cambios nos procesos que baseados na substitución de insumos permiten descarboniza-la produción. En parte esta foi abordada na anterior categoría.

Neste caso ocorre o mesmo que nas innovacións de proceso ao aplica-la senda LED ao caso de estudo: non existe un inventario de opcións tecnoeconómicas en LED que se deba aplicar aos sectores obxecto de estudo; mais si se poden identificar na literatura científica en coherencia co ritmo de redución de emisións requerido e determinados cambios produtivos (principalmente no uso de enerxía e materiais) indicados en LED.

IV) Reducións no uso de materiais e enerxía

Reducións no uso de materiais e enerxía na economía permitirían reducións nas emisións GEI na medida en que o uso de ditos materiais e enerxía as producen. Estas reducións poden lograrse por varias vías, que se poden clasificar segundo o axente que as aplica: o produtor ou o consumidor final. A redución do uso de enerxía e materiais nos procesos produtivos das industrias manufactureiras mediante transformacións produtivas nestas industrias podería lograrse mediante estratexias

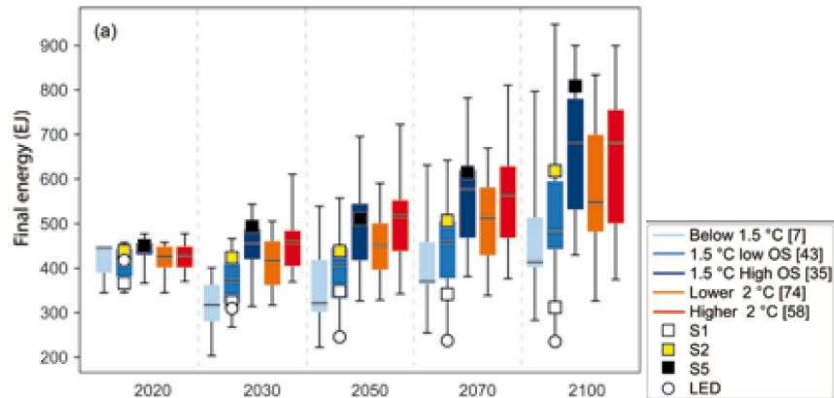
como: melloras e innovacións de proceso, economía circular ou simbiosis industrial. A través da aplicación deste tipo de estratexias nas IIEs tamén se poderían evitar emisións noutros sectores situados cara atrás na cadea de valor, por exemplo na extracción de minerais debido ao incremento da proporción de materia prima reciclada na fabricación de metais. Isto, sen embargo, non se aborda na investigación debido a que non forma parte dos obxectivos do traballo.

A alternativa que alude fundamentalmente ao consumidor final pode lograrse mediante, por exemplo, estilos de vida menos intensivos en recursos, alongamento da vida útil dos produtos ou ratios de crecemento demográfico e económico moderados, nulos ou negativos⁹. Esta alternativa tecnoeconómica de transición cara a neutralidade climática é de carácter suprarrexional posto que depende do consumidor final, que non só pode estar situado no territorio onde se producen as emisións de forma directa, senón que pode estar en calquera parte do mundo.

A redución da enerxía final nas catro traxectorias arquetípicas difire significativamente. Unha comparativa entre as mesmas entre 2020 e 2100 ofrécese na imaxe 3. Datos de produción material non son facilmente identificabeis para as sendas S1, S2 e S5, si para a senda LED. Nesta senda, no Norte Global e para o caso particular da industria¹⁰ a produción material diminúe un 41,2% entre 2020 e 2050; a enerxía final, un 56,7%, e a intensidade enerxética material, un 26% (Grubler, Arnulf et al., 2018).

⁹ Existe unha correlación positiva entre crecemento económico e uso de materiais e enerxía (Haberl et al., 2020, Hickel e Kallis, 2020, Ward et al., 2016).

¹⁰ Na traxectoria LED, o sector industria inclúe as industrias manufactureiras e as da construción (Grubler et al., 2018, p. 524).



Imaxe 3: Evolución da enerxía final nas traxectorias de mitigación compatibles con 1,5 e 2°C. Extraída de “Decomposition of transformation pathways into (a) energy demand, (b) carbon intensity of electricity, (c) the electricity share in final energy, and (d) the carbon intensity of the residual (non-electricity) fuel mix”, de Rogelj et al., *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*

V) BECCS, DAC, CCS e CCU

Conxuntamente coñecidos como tecnoloxías CCS; BECCS, DAC, CCS e CCU son tecnoloxías de CDR que facilitan o logro de traxectorias de mitigación na industria compatibles con 1,5°C (Global CCS Institute, 2019). A tecnoloxía CCS consiste na a captura e posterior almacenamento de CO₂ emitido en procesos industriais como produción de aceiro, cemento e produtos químicos básicos e a combustión de recursos enerxéticos fósiles na xeración de electricidade (DiEM25, 2019; Global CCS Institute, 2019). Trala captura, este gas é comprimido ou pasado a estado líquido, transportado por tuberías e inxectado a alta presión en xacementos de petróleo e gas case esgotados, acuíferos salinos ou leitos oceánicos. CCS é unha tecnoloxía custosa e a captura do gas en porcentaxes superiores ao 90% resulta moi custosa e difícil. Existen, ademais, limitacións en canto á aceptación desta tecnoloxía por parte da sociedade (Comisión Europea, 2018a), ademais dos riscos medioambientais comentados na sección 5.1.2., que poderían obstaculiza-la súa implementación.

Cando esta tecnoloxía se combina con biomasa, é dicir, captura o CO₂ procedente da combustión de biomasa, denomínase BECCS. BECCS ten o

potencial de xerar emisións negativas, é dicir, absorber CO₂ da atmosfera, o CO₂ que foi absorbido pola biomasa previamente á súa combustión e que quedaría capturado por dita tecnoloxía e almacenado tal e como se indicou en CCS. Esta tecnoloxía, sen embargo, pode chegar a xerar emisións positivas dependendo das emisións xeradas nas distintas fases do ciclo de vida da biomasa¹¹ (DiEM25, 2019; Global CCS Institute, 2019).

CCU é unha tecnoloxía idéntica a CCS agás na última fase: en vez de almacenamento de CO₂ en xacementos de petróleo e gas case esgotados, acuíferos salinos ou leitos oceánicos o CO₂ é utilizado na produción de materiais e combustíbeis (Global CCS Institute, 2019). No suministro enerxético, CCU pode ser útil como estratexia de almacenamento enerxético, pois o CO₂ capturado pode, vía síntese co hidróxeno, transformarse en metano ou metanol, ambos combustíbeis (SAPEA, 2018). Este proceso é idóneo para momentos nos que hai excedente de enerxía eléctrica renovábel.

A aplicación de CCU na produción material (por exemplo, para a produción de plásticos, cemento ou fibra de carbono) permite a utilización de insumos con contido carbónico fósil nos procesos industriais, e ten a vantaxe de que dito contido carbónico pode ser capturado e reutilizado un número indefinido de veces vía reciclaxe. Os materiais así producidos denomínanse “produtos CCU”; os combustíbeis, “combustíbeis CCU” (SAPEA, 2018).

En termos xerais, CCU permite a redución de emisións sempre que sen CCU o CO₂ utilizado tería sido emitido á atmosfera e: (1) este permanece almacenado permanentemente ou inserto no produto (por exemplo, en cemento), (2) o produto evita a utilización de materiais con carbono fósil como insumo ou (3) o produto no que se insire o CO₂ evita a produción de CO₂ procedente de fontes naturais exclusivamente para ese fin (Global CCS Institute, 2019).

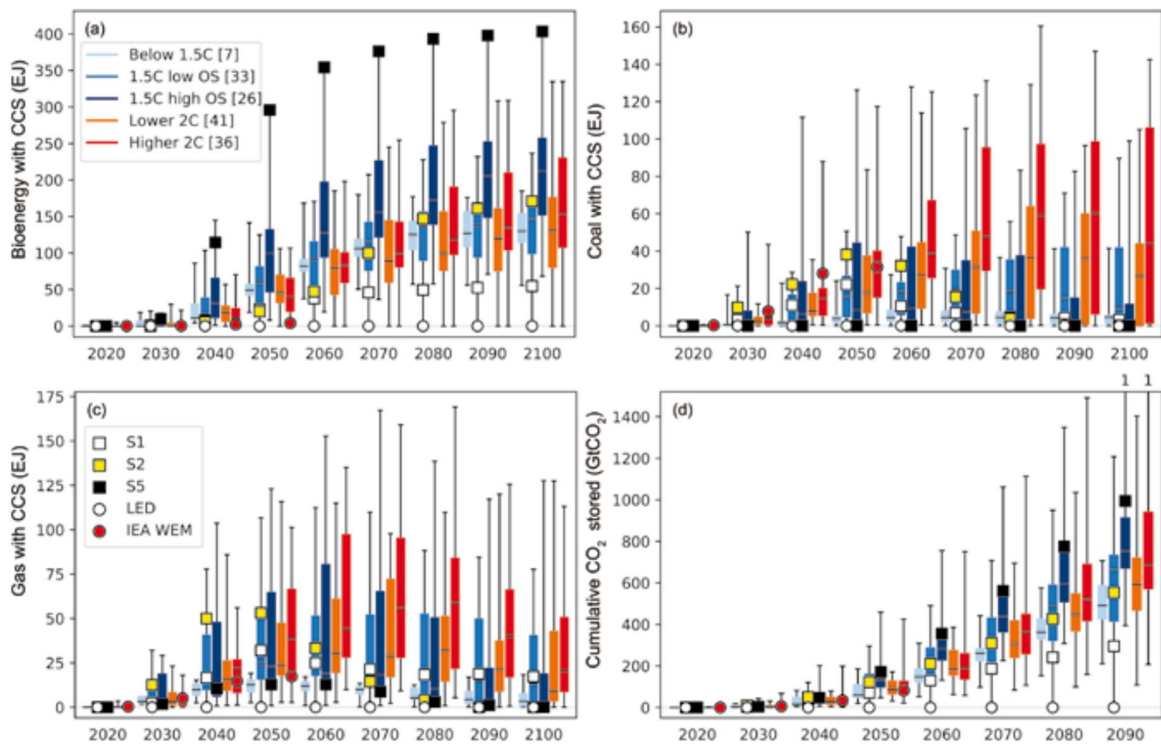
Por último, DAC é unha tecnoloxía que permite capturar CO₂ directamente do aire (a diferenza de CCS, BECCS e CCU) e despois reutilízalo ou almacénalo (de forma idéntica que en CCS, BECCS e CCU). Esta tecnoloxía, sen embargo,

¹¹ Unha compilación de literatura científica ao respecto está dispoñíbel en (Biofuel Watch, n.d.).

require grandes cantidades de auga e enerxía e é moi custosa (Global CCS Institute, 2019)

As instalacións de tecnoloxías CCS son especialmente custosas no seu desenvolvemento e construción, sen embargo espérase que estes custes baixen ata incluso a metade a medida que aumenta o coñecemento sobre estas tecnoloxías. É necesario apoio por parte do sector público para cataliza-lo investimento nesta industria e o seu conseguinte despliegue, sobre todo nas fases de introdución no mercado e crecemento. Entre os instrumentos políticos favorabeis están: incremento do imposto ao carbono, subvencións, crédito fiscal ou crédito por emisións e asunción de parte do risco dos investimentos do sector privado por parte dos gobernos (Global CCS Institute, 2019: 23-24).

Para o caso particular da industria, as tecnoloxías de CCS teñen nas traxectorias S2 e S5 un papel decisivo, especialmente nas industrias de proceso (Rogelj et al., 2018). A senda S1 conta cun escaso despliegue de CCS e a senda LED non utiliza CCS en absoluto. A imaxe 4 amosa unha visión comparativa nesta cuestión.



Imaxe 4: Comparativa do despregue de CCS con (a) biomasa, (b) carbón, (c) gas natural e (d) a cantidade acumulada de CO₂ fósil e da biomasa almacenado vía CCS (en GtCO₂ almacenado) entre as distintas traxectorias arquetípicas. Extraída de “CCS deployment in 1.5°C and 2°C pathways for (a) biomass, (b) coal and (c) natural gas (EJ of primary energy) and (d) the cumulative quantity of fossil (including from, e.g., cement production) and biomass CO₂ stored via CCS (in GtCO₂ stored)”, de Rogelj et al., *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*. (a), (b) e (c) mídense en EJ de enerxía primaria. (d) inclúe, entre outros, o CO₂ da produción de cemento.

5.3. CONCLUSIÓNS DA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Existe unha diversidade de sendas ou traxectorias de mitigación compatíbeis con 1,5°C. Unha análise comparativa das diferentes alternativas tendo en conta estes aspectos foi realizada. Estas sendas agrúpanse en catro arquetipos para a súa máis sinxela caracterización, con cadansúa dificultade no logro do obxectivo climático mencionado. Estas sendas poden operar baixo diferentes escenarios socioeconómicos e con diferentes estratexias tecnoeconómicas para a redución e

eliminación de emisións, e existen implicacións en termos de desenvolvemento sostíbel e implicacións ecolóxicas diferentes en cada unha delas.

Tódalas sendas de mitigación compatíbeis con 1,5°C contan con transformacións importantes do modelo produtivo. Para a industria existen unha miríada de alternativas e estratexias tecnoeconómicas para a diminución das súas emisións. Estas pódense clasificar en cinco grupos: (I) transición cara fontes de enerxía de baixas emisións, (II) melloras e innovacións nos procesos industriais, (III) substitución de materiais, (IV) reducións no uso de materiais e enerxía e (V) captura e almacenamento e/ou utilización de carbono (CCS e/ou CCU) e bioenerxía con captura e almacenamento de carbono (BECCS).

Un cambio (orientado cara a mitigación do cambio climático) nos patróns de desenvolvemento socioeconómico e progreso tecnolóxico que ten habido ata o presente é necesario para diminuí-la dificultade de logralo obxectivo climático; este cambio está representado polas traxectorias S1 e LED. De non producirse este cambio (senda S2 ou S5), a dificultade de limita-lo quecemento global a 1,5°C sería maior (media ou elevada) e dependería en gran medida do despliegue a gran escala de tecnoloxías CDR (tanto maior canta máis dificultade se agregue). Estas tecnoloxías, sen embargo, presentan riscos medioambientais nada despreziabeis, incertezas dende o punto de vista tecnolóxico e requiren un forte apoio económico e financeiro por parte dos gobernos para o seu desenvolvemento ao ritmo requerido. A senda S1 tamén require do uso de CDR, mais en moita menor medida, e a senda LED non contempla a utilización de CCS nin tecnoloxías de emisións negativas (agás forestación). As sendas LED e S1 son, por tanto, as que menos riscos asumen dende o punto de vista tecnolóxico entre as compatíbeis con 1,5°C, principalmente porque non empregan CCS nin tecnoloxías de emisións negativas ou as empregan en moita menor medida que S2 e S5. Ademais, son as que ofrecen maiores garantías de logralo obxectivo climático; no caso de LED a súa probabilidade de logralo é das máis elevadas (máis do 60%), facéndoo sen sobrepasso temporal da temperatura indicada (Grubler, Arnulf et al., 2018; Rogelj et al., 2018).

Dende o punto de vista socioeconómico non se identifica ningunha senda arquetípica de mitigación con impactos claramente negativos, segundo a avaliación realizada no último informe do IPCC. Ningunha senda semella compromete-lo desenvolvemento humano a nivel planetario senón é pola vía do desequilibrio ecosistémico xerado polas implicacións ecolóxicas das mesmas.

En termos ecolóxicos, S1 e LED son as dúas sendas máis comprometidas co desenvolvemento sostíbel. Isto débese en boa medida a que presentan reducións elevadas (no caso de LED) ou algo máis modestas (S1) da demanda enerxética; porque son as que máis sinerxias positivas e menos efectos compensatorios teñen cos ODS e porque o seu uso de CCS e tecnoloxías de emisións negativas é baixo ou nulo, respectivamente.

Pode argumentarse por estes motivos que a senda LED é a senda que idealmente se debería perseguir nun marco de desenvolvemento humano sostíbel. Se ben a senda S1 tamén semella ser interesante dende o punto de vista do desenvolvemento humano sostíbel, a persecución de traxectorias coherentes con LED permite dar marxe á existencia de erros, imprecisións ou desviacións na implementación das transformacións tecnoeconómicas e sociais coherentes coa mesma sen que estes desemboquen necesariamente en escenarios de mitigación compatíbeis con 1,5°C moi desfavorabeis, altamente difíciles de lograr e con elevados riscos dende o punto de vista ambiental (como os presentes na senda arquetípica S5, altamente dependente de tecnoloxías CDR, e en menor medida na senda arquetípica S2).

A senda LED consegue traxectorias de redución de emisións na industria fundamentalmente a través da diminución drástica do uso de enerxía e materiais e a través dunha transformación no suministro enerxético sen facer uso de CCS nin tecnoloxías de emisións negativas¹². As innovacións, cambios e melloras nos

¹² As tecnoloxías de emisións negativas son aquelas que permiten eliminar CO₂ da atmosfera de forma intencionada mediante intervención humana (Fuss et al., 2014, p. 850). Nelas están incluídas: BECCS, forestación, captura directa de aire e biocarbonización; non obstante, en LED si se inclúe a forestación no deseño da traxectoria de mitigación (Grubler et al., 2018, p. 525).

procesos industriais teñen tamén o seu papel, posibilitando en parte os cambios enerxéticos e materiais mencionados (Grubler, Arnulf et al., 2018).

6. MARCO METODOLÓXICO

6.1. UNIVERSO DE ESTUDO E DATOS

6.1.1. Universo de estudo: delimitación e caracterización

O universo de estudo está formado polas IIEs que rexistraron emisións de gases de efecto invernadoiro (GEI) en Galicia no período 2015-2019 no Rexistro PRTR (en adiante IIE galegas). Estes gases son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hexafluoruro de azufre (SF₆) (UNFCCC, 1997).

Selecciónanse como universo ou obxecto de estudo os complexos industriais que rexistran emisións no PRTR por varios motivos. En primeiro lugar, para acotalla investigación e axustala o máximo posíbel aos límites de tamaño do traballo e, en segundo lugar, porque a prioridade da mitigación das emisións GEI nas IIE galegas sitúase nestes complexos, ao ser os máis contaminantes deste grupo de industrias. Unha cuantificación da representatividade das emisións destes complexos en relación ao total de complexos nas IIEs en Galicia non é posíbel realizala en base a datos públicos de emisións, pois a única fonte que teoricamente contén o 100% das emisións está desagregada sectorialmente cunha diferente clasificación, o que fai moi difícil a súa comparabilidade co Rexistro PRTR.

Dentro da industria manufactureira, a selección das IIEs como obxecto de estudo realízase por varios motivos. En primeiro lugar, estas industrias concentraron o 84,42% das emisións GEI da industria manufactureira e o 12,88% do total de emisións GEI en Galicia nos períodos 2015-2019 e 2015-2018, respectivamente, segundo a análise realizada na sección 7.1. en base aos datos do Rexistro PRTR (2018a; 2018b; 2019; 2020b; 2020c) e do Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadoiro (MITERD, 2020a). En segundo lugar, teñen recibido especial atención na literatura científica sobre descarbonización industrial recentemente, constituíndo

a menudo un único obxecto de estudo conxuntamente (Bruyn, Jongsma, Kampman, Görlach, & Jan-Erik Thie, 2020; Chan, Y. et al., 2019; Climate & Strategy Partners, 2017; High-Level Group on Energy-intensive Industries, 2019; Wesseling et al., 2017; Wyns et al., 2018a). Por estes motivos decídese, dentro da industria manufacturera, focaliza-lo obxecto de estudo neste grupo de industrias.

As IIEs, tamén denominadas, Industrias de Procesamento Intensivas en Enerxía, Industrias Manufactureras Intensivas en Enerxía ou Industrias Intensivas Enerxeticamente (Bruyn et al., 2020; Chan, Y. et al., 2019; Climate & Strategy Partners, 2017; High-Level Group on Energy-intensive Industries, 2019; U.S. Energy Information Administration, 2016; Wesseling et al., 2017; Wyns et al., 2018a) son aquelas industrias que transforman recursos naturais en materiais básicos mediante procesos que demandan elevadas cantidades de enerxía (Wesseling et al., 2017). Entre elas inclúense todas aquelas que producen os seguintes materiais, considerados como básicos (Bruyn et al., 2020; Chan, Y. et al., 2019; Climate & Strategy Partners, 2017; U.S. Energy Information Administration, 2016; Wyns et al., 2018a; Wyns, Khandekar, & Robson, 2018b)¹³ (indícanse entre paréntese os grupos e clases CNAE09 ás que pertencen (INE, 2012)):

- Papel e pasta papeleira (1711 e 1712)
- Produtos petrolíferos (1920)
- Produtos químicos básicos (2011, 2012, 2013 e 2014), fertilizantes e compostos nitroxenados (2015) e etileno, propileno, resinas e outros plásticos en formas primarias (2016). Máis concretamente, entre os produtos químicos cuxa fabricación é intensiva enerxeticamente (e que teñen recibido especial atención por parte da literatura sobre descarbonización) están: amoníaco, hidróxeno, metanol, bioetanol, biometanol, etileno, propileno, olefinas, benceno, tolueno, xileno, carbonato de propileno ou de polipropileno, éter/eterol de policarbonato, ácido fórmico, dimetiléter, acrilato de sodio e silicona.

¹³ En Estados Unidos as industrias da alimentación, bebidas e tabaco tamén se inclúen dentro desta lista (U.S. Energy Information Administration, 2016), na Unión Europea non (Bruyn et al., 2020; High-Level Group on Energy-intensive Industries, 2019).

- Minerais non metálicos: principalmente cemento (2351) e outros minerais non metálicos coma cal (2352), xeso (2352), materiais cerámicos e refractarios (232, 233 e 234) e vidro (231).
- Metais férreos e ferroaleacións, como aleacións de ferro con cromo e níquel, para o aceiro inoxidable, ou con manganeso.
- Aceiro.
- Metais non férreos: principalmente aluminio e outros metais non férreos coma cobre, zinc, níquel e estaño.

En Galicia hai 42 complexos industriais activos pertencentes ao grupo de industrias intensivas enerxeticamente (Rexistro PRTR-España, 2020a; Rexistro PRTR-España, n.d.b)¹⁴. Os que rexistraron emisións GEI por encima de cero no Rexistro PRTR no período 2015-2019 son, como se indicou previamente, o obxecto de estudo deste traballo, e ascenden a un total de 25 complexos (o 59,52% do total) (Rexistro PRTR-España, 2018a; Rexistro PRTR-España, 2018b; Rexistro PRTR-España, 2019; Rexistro PRTR-España, 2020b; Rexistro PRTR-España, 2020c).

Ademais, só tres complexos dos que quedan fóra da análise pertencen a ramas de actividade (clases CNAE) non abordadas no traballo: Papelera de Brandia S.A. (CNAE09 17.12), Electroquímica del Noroeste S.A. (CNAE09 20.13) e IKF España S.A. (CNAE09 23.20). Os complexos pertencentes a ramas de actividade obxecto de estudo con procesos produtivos diferentes (ou posibelmente diferentes) son cinco, catro deles na rama CNAE09 20.14: “Fabricación doutros produtos básicos de química orgánica”: Kingspan Insulation S.A. (elementos de illamento para o sector da construción), Regadi (fabricación de disolventes reciclados), ABCR Laboratorios S.L. (especialidades químicas sen especificar) e Energía Gallega Alternativa S.L.U. (non dispoñíbel publicamente información sobre a súa produción), e un na rama 20.59: “Fabricación doutros produtos químicos non clasificados noutra parte”: Compañía Española de Industrias Electroquímicas S.A. (Bureau van Dijk,

¹⁴ Inclúense tres complexos das clases CNAE 20.52: “Fabricación de colas” e 20.59: “Fabricación doutros produtos químicos non clasificados noutra parte” que, aínda que non figurarían na lista anterior, considéramolos (tralo diagnóstico das emisións e/ou da estrutura produtiva dos mesmos) susceptibles de seren clasificados dentro deste tipo de industrias.

2014). A fabricación de cemento e materiais cerámicos (realizada nos complexos restantes) segue procesos bastante estandarizados, independentemente das especificidades do material producido (Chan et al., 2019). Por estes motivos, pódese afirmar que existe tamén unha boa representatividade dos procesos produtivos das IIE galegas nos complexos obxecto de estudo: tan só sete dos 42 complexos (o 16,7%) teñen unha estrutura produtiva sensibelmente diferente á dos complexos obxecto de estudo.

Na táboa 3 ofrécese un listado das 25 IIEs galegas obxecto de estudo, as cales pertencen a 13 diferentes clases CNAE, xunto cos materiais básicos principais que produce cada unha.

Táboa 3: Industrias e complexos industriais obxecto de estudo		
Industria (clases CNAE09)	Complexo industrial	Materiais que producen¹⁵
Fabricación de pasta papeleira (17.10)	Ence Energía y Celulosa, SA - Fábrica de Pontevedra	Celulosa de eucalipto
Refinación de petróleo (19.20)	Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña	GLPs, gasolinas, querosenos, gasóleos, fuelóleos, coque, enerxías residuais, biocarburantes, naftas e asfaltos
Fabricación de gases industriais (20.11)	Air Liquide Iberica de Gases	Hidróxeno e CO ₂
Fabricación doutros produtos básicos de química orgánica (20.14)	Bioetanol Galicia	Bioetanol
	Masol Iberia Biofuel	Biodiésel

¹⁵ As fontes de información se indican na sección 7.3. Habitualmente son de dous tipos: cuestionario individualizado por complexo ou autorización ambiental integrada dispoñíbel publicamente.

Fabricación de colas (20.52)	Forestal Del Atlantico, SA	Colas
Fabricación doutros produtos químicos n.c.n. (20.59)	Arteixo Quimica S.L.	Produtos químicos orgánicos, concretamente hidrocarburos hidroxenados ¹⁶
	Specialty Marine Products And Ventures, S.L.	Aceites e graxas industriais
Fabricación de azulexos e baldosas de cerámica (23.31)	Ceramica da Moura	Gres extruído
Fabricación de tixolos, tellas e produtos de terras cocidas para a construción (23.32)	Tejas Verea S.A.	Tellas
	Ceramica La Manchica, S.L.	Ladrillos
	Campo Brick, S.L.	Materiais cerámicos de construción
	Cerámicas Del Miño	Ladrillos
	Nueva Cerámica Campo, S.L.	Ladrillos
	Epifanio Campo, S.L.	Ladrillería oca de construción
Fabricación de cemento (23.51)	Cementos Cosmos (Oural)	Cemento
Fabricación doutros produtos minerais non metálicos n.c.n. (23.99)	Magnesitas De Rubian S.A.	Magnesita cáustica
Fabricación de produtos básicos	Xallas Electricidad y Aleaciones, S.A.U. - Cee	Ferrosilicio, ferromanganeso e silicomanganeso

¹⁶ Fabrica unha ampla variedade de produtos: desinfectantes de piscinas, produtos de tratamento de depuradoras, intermedios de reacción, policarbonatos, tensioactivos...

de ferro, aceiro e ferroalixes (24.10)	Xallas Electricidad y Aleaciones, S.A.U. - Dumbria	Ferrosilicio
	Celsa Atlantic, S.L.	Aceiro corrugado e alambión en barras e rolos laminado en quente
	Megasa Siderúrgica	Aceiro corrugado de construción (en barras rectas, rolos e alambión) e palanquilla.
Produción de aluminio (24.42)	Alumina Española S.A.	Alúmina
	Aluminio Español, S.A.	Aluminio primario
	Alu Ibérica LC, S.L. - La Coruña	Aluminio primario e secundario
Produción doutros metais non férreos (24.45)	Ferroatlántica De Sabón, S.L.U.	Silicio metal e ferrosilicio

Dentro destes complexos industriais obxecto de estudo non se aborda o 100% das emisións GEI nas IIEs obxecto de estudo. En primeiro lugar, como se indica nas subseccións 6.1.2 e 6.2.2, a elaboración da senda de descarbonización céntrase no CO₂. Dentro deste gas, certas emisións que certamente se poderían considerar como procedentes dos complexos industriais, non son abordadas no traballo: as emisións ocasionadas pola maquinaria móbil industrial. Estas emisións déixanse fóra da análise por seren consideradas coma dentro da categoría transporte, co cal a estratexia de descarbonización sería cualitativamente diferente á dos procesos industriais; este traballo focalízase nas emisións ocasionadas por procesos industriais. En calquera caso, estas emisións representan un porcentaxe moi pequeno con respecto ao total nacional: foron en 2016 138.612 tCO₂eq en Galicia e representaron o 0,5% do total galego (Xunta de Galicia, 2019a, p. 55).

Por último, cómpre aclarar que a produción materiais básicos non só se da nas ramas de actividade expostas na táboa anterior; tamén, como resultado de

actividades secundarias, ten lugar noutros sectores económicos (IGE, 2020b). Non obstante, non existen datos a nivel público que permitan identifica-las emisións nestes procesos. Como se expón na seguinte subsección (6.1.2), os datos que contan co nivel de desagregación requerido para esta investigación tan só cuantifican emisións para o total dos procesos que teñen lugar nos complexos industriais, sen diferenciar por actividade primaria ou secundaria ou por ben producido. Por este motivo e polas limitacións en tempo e forma do traballo, exclúense da análise estas actividades secundarias.

6.1.2. Datos

En coherencia cos obxectivos desta investigación, aplícase o enfoque de emisións directas na análise das emisións a nivel sectorial. Este enfoque contabiliza as emisións en función do axente económico que as produce¹⁷. A modo de exemplo, unha industria que consome electricidade de orixe fósil tería cero emisións directas por consumo de electricidade, emisións que serían asignadas ás centrais termoeléctricas que a xeraron. Asimesmo, pode ocorrer que unha industria implemente cambios produtivos (por exemplo, aumente a porcentaxe de materia prima reciclada) e iso conleve a reducións de emisións noutros sectores, que non serían contabilizadas na propia industria aínda que fose en gran medida a responsábel de dita descarbonización. A aplicación do enfoque de emisións directas nesta investigación, por tanto, permite analizar unicamente o grao no que se produce a descarbonización nas industrias obxecto de estudo (que é certamente o obxectivo buscado); excluindo posibeis avances na mitigación do cambio climático en sectores situados atrás nas cadeas de valor correspondentes a raíz de transformacións produtivas nas IIEs.

¹⁷ Alternativamente existen outros enfoques, coma o da pegada de carbono, que asignan a procedencia das emisións a un axente económico u outro en función da responsabilidade que ten na xeración das mesmas. Por exemplo, neste enfoque as emisións da extracción de metais adoitan ser atribuídas a outros sectores da cadea de valor situados diante, como as industrias de procesamento destes metais.

Datos do perfil sectorial de emisións.

En coherencia co enfoque empregado, os datos utilizados son datos de emisións directas: as emisións que se producen nas actividades produtivas que teñen lugar nos complexos industriais das IIEs en Galicia. Os únicos datos públicos de emisións GEI directas cun nivel de desagregación abondo como para identificar ás industrias obxecto de estudo proceden do Rexistro PRTR¹⁸. Esta fonte emprégase para o cálculo do perfil sectorial de emisións na industria manufacturera (sección 7.1.).

O Rexistro PRTR está centrado nas actividades económicas de tipo industrial. Concretamente, os sectores incluídos son (Rexistro PRTR-España, n.d.a):

- Enerxía
- Produción e transformación de metais
- Industrias minerais
- Industria química
- Xestión de residuos e augas residuais
- Fabricación e transformación de papel e madeira
- Gandeiría e acuicultura intensiva
- Produtos de orixe animal e vexetal da industria alimentaria e das bebidas
- Outras actividades (tratamento de produtos textís, fabricación de grafito, etc.)

Dentro dos sectores mencionados, esta fonte de información non inclúe tódalas emisións producidas en Galicia, senón que exclúe as que están por debaixo de certo umbral. Estes umbrais e as 65 actividades industriais recollidas no Rexistro PRTR especificanse no anexo 1 do Real Decreto 508/2007 e na súa posterior modificación no anexo 5 do Real Decreto 815/2013 (BOE, 2007; BOE,

¹⁸ Se ben nivel español existen as contas de emisións, estadísticas que relacionan as emisións GEI coa división CNAE09 que as produce, non existen datos desagregados por comunidades autónomas (INE, n.d.). Os datos do inventario nacional de emisións, que si existen para Galicia aínda que con escaso nivel de desagregación, tampouco permite a clasificación das emisións por industria, pois utiliza a clasificación CRF, a cal identifica as emisións en función do tipo de actividade que as produce (por exemplo, actividades de combustión, agricultura, emisións de proceso, etc.) (MITERD, 2020).

2013). Tras realizar unha análise de representatividade dos datos de emisións GEI no Rexistro PRTR con respecto ao Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadoiro (o cal inclúe o 100% das emisións) (ver anexo I), enténdese que o groso de emisións da IIE galega está representado polas emisións que figuran no Rexistro PRTR e, por conseguinte, polos complexos industriais obxecto de estudo deste traballo.

O nivel máximo de desagregación para o que existen emisións no Rexistro PRTR é o complexo industrial. Estes complexos clasifícanse por clases CNAE (catro díxitos) en función da actividade principal que realiza o complexo. Por tanto, non se distinguen as emisións producidas na actividade principal do complexo ou nas actividades secundarias. Non obstante, este traballo non pretende abordar unicamente as actividades económicas pertencentes consideradas como parte das IIEs, senón aborda-los complexos industriais considerados considerados como parte das IIEs con emisións GEI superiores a cero no Rexistro PRTR no período 2015-2019, independentemente de se realizan actividades secundarias que non estean consideradas como intensivas enerxeticamente de acordo coa clasificación de IIEs indicada. Un aspecto metodolóxico que permite identifica-las actividades das que proveñen as emisións é a enquisa sobre os procesos emisores de CO₂ en cada complexo industrial mediante cuestionario individualizado, a cal se levou a cabo como parte da recollida de información (máis información na subsección 6.2.2).

As emisións de CO₂ bioxénicas (por exemplo, procedentes de combustión de biomasa ou cesión de carbono bioxénico en procesos de redución) considéranse nulas na industria a efectos da estratexia de descarbonización proposta, segundo se detalla na subsección 6.2.2). Sen embargo, o Rexistro PRTR compútaas como emisións do mesmo xeito cás demais (BOE, 2013); por tanto, na elaboración do perfil sectorial de emisións (sección 7.1) contabilízanse estas emisións. No diagnóstico de emisións de cada complexo (sección 7.3), cuxa metodoloxía é exposta na subsección 6.2.2, exclúense estas emisións.

Datos para o diagnóstico das emisións por complexo industrial da sección 7.2.

Unha vez se identifica o obxecto de estudo (as IIEs), procédese a un cálculo máis preciso das emisións por complexo industrial. Este cálculo máis preciso permite unha definición máis precisa da estratexia de descarbonización para as IIEs galegas que reportaron datos de emisións GEI ao PRTR.

Para isto, realízase un cálculo das emisións por complexo mediante a metodoloxía da Guía IPCC, así coma unha enquisa individualizada por complexo, relativos ás emisións de CO₂¹⁹. Unha descrición da metodoloxía utilizada para o cálculo de emisións de CO₂ por complexo atópase na subsección 6.2.2.

6.2. MÉTODOS E TÉCNICAS. PROCESO DE INVESTIGACIÓN

O proceso de investigación (de elaboración da estratexia) consta de tres fases. Como primeira fase e para a selección do obxecto de estudo elaborouse o perfil de emisións da industria manufacturera, das IIEs e dos complexos industriais obxecto de estudo en Galicia a partir dos datos do Rexistro PRTR entre 2015 e 2019. En segundo lugar, como paso previo necesario para a elaboración da estratexia de descarbonización das IIEs galegas realizouse un diagnóstico da súa estrutura produtiva e emisións de CO₂. En terceiro e último lugar, fórmulase unha estratexia de descarbonización da IIE galega coherente con 1,5°C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas, con cadansúa subestratexia para cada industria.

A continuación procédese á descrición máis detallada da metodoloxía de cada unha destas fases da investigación.

¹⁹ Ponse o foco exclusivamente no CO₂ porque este gas representa máis do 99% das emisións de GEI nos complexos industriais obxecto de estudo (agás en Megasa Siderúrgica e Repsol Coruña, onde representan o 96,4% e o 98,15%, respectivamente), segundo a análise sectorial realizada na sección 7.1.

6.2.1. Perfil sectorial de emisións directas na industria manufactureira en Galicia.

Como primeira etapa da investigación procedeuse á elaboración do perfil de emisións GEI por divisións CNAE09 para a industria manufactureira en Galicia; isto é, cuantificáronse as emisións producidas por cada industria manufactureira ao nivel de desagregación divisións CNAE (dous díxitos). O período de estudo é 2015-2019; os datos utilizados refírense aos valores promedio deses cinco anos.

Para isto, cuantifícanse as emisións de cada gas de efecto invernadoiro emitidas por cada complexo industrial en Galicia cuxa actividade principal se clasifica dentro da sección CNAE09 “C: Industria manufactureira” en base aos datos do Rexistro PRTR. As emisións dos gases diferentes ao CO₂ se convirten a CO₂ equivalente mediante os potenciais de quecemento global (en adiante PQG) de cada gas do Cuarto Informe de Avaliación do IPCC²⁰: o CO₂ equivalente (en adiante, CO₂eq), obtense multiplicando as emisións dun determinado GEI polo seu PQG (IPCC, 2014, p. 121). Ditos PQG son: 25 para o CH₄, 298 para o N₂O e 22800 para o SF₆. En canto aos HFCs e os PFCs, como conteñen varios gases con diferentes PQG, realizouse unha consulta ao seis únicos complexos con emisións destes gases no período de estudo (2015-2019) para determinar cales foron as masas de cada gas HFC e PFC e do total de HFCs e PFCs en kg de cada gas e CO₂ equivalente, respectivamente, emitidas en dito período²¹.

Unha vez se teñen tódolas emisións de cada complexo en CO₂eq, calcúlase o total por complexo mediante a suma de cada gas. Estas operacións repítense para cada ano (de 2015 a 2019). A continuación, calcúlanse as medias aritméticas das emisións de cada complexo no período de estudo, co cal se teñen as emisións GEI para o ano promedio clasificados por complexo. Estas medias aritméticas

²⁰ A equivalencia entre a masa dun GEI e a do CO₂ pódese calcular de diferentes xeitos. Neste traballo emprégase a métrica utilizada polo IPCC e a UNFCCC: o potencial de quecemento global co horizonte temporal 100 anos (IPCC, 2014, p. 87). Os valores empregados son os do Cuarto Informe de Avaliación do IPCC para estar en consonancia co IN, pois son os empregados por esta fonte (MITERD, 2020, p. 716).

²¹ Alu Ibérica e Alcoa, con emisións PFC, foron enquisadas 14 de decembro de 2020; Frinsa del Noroeste S.A., Unidad de Producción Térmica As Pontes, Central de Ciclo Combinado As Pontes e Central Térmica de Sabón, con emisións de HFCs, o día 14 de xaneiro de 2021.

calcúlanse só cos anos para os cales as emisións están por encima de cero. Isto faise así para evitar contabilizar como nulas as emisións de complexos que quedan por debaixo do umbral, o cal sucede na gran maioría dos casos entre 2015 e 2016, pois, ademais dos umbrais habituais, existía un umbral de información pública.

Finalmente, os totais de cada rama de actividade calcúlanse mediante a suma das emisións en CO₂eq de tódolos complexos pertencentes a cada rama correspondente no ano promedio.

Os resultados desta análise levan á selección do obxecto de estudo, as IIEs, como se indicou na sección 6.1.

6.2.2. Diagnóstico da estrutura produtiva das IIEs en Galicia

En segundo lugar, realízase un diagnóstico da estrutura produtiva das IIEs²² (dos complexos industriais obxecto de estudo) en base á seguinte información: materiais producidos, niveis de produción material en unidades físicas, consumo enerxético (por combustíbel e electricidade) en unidades físicas), procesos produtivos e focos de emisións, emisións de CO₂ (en ktCO₂), intensidade enerxética material (GJ/t) e intensidade carbónica (tCO₂/t)²³. O diagnóstico realízase tendo en conta os datos relativos á serie temporal 2015-2019; desta forma trata de reflexarse o carácter estrutural de cada industria, en lugar de ofrecer unha simple descrición instantánea que poida ser froito de condicións coxunturais. Dado o carácter pouco variábel dos procesos produtivos na industria, unha serie de cinco anos nun período

²² O diagnóstico realízase para cada complexo industrial obxecto de estudo. Non obstante, por cuestións de confidencialidade da información subministrada polos complexos, non se expón este diagnóstico. Os resultados que se expoñen na sección 7.1 correspóndense co nivel de desagregación “industria”, o cal é representado polo conxunto dos complexos industriais con semellante proceso produtivo (por exemplo, industria do ladrillo e a tella). Nos casos nos que só un complexo hai no sector, ocúltase a información catalogada como confidencial por parte das empresas.

²³ As intensidades enerxética e carbónica calcúlanse para todo o complexo industrial en base á produción total de materiais básicos principais. Non se inclúe, por tanto, a produción de materiais secundarios nin de materiais que non se consideren básicos (en base á definición destes na subsección 6.1.1).

de certa estabilidade económica a nivel global e local considérase abondo para unha análise de carácter estrutural.

Cos datos de produción material e consumo enerxético obtidos de cada complexo mediante cuestionario individualizado calcúlase a intensidade enerxética material de cada complexo e industria mediante a seguinte ecuación para os valores promedio do período temporal analizado (2015-2019)²⁴:

$$IE_{i,0} = \frac{E_{i,0}}{P_{i,0}}$$

Onde:

- $IE_{i,0}$: Intensidade enerxética material actual da industria “i” ou do complexo industrial correspondente.
- $E_{i,0}$: Consumo enerxético actual da industria “i” ou do complexo industrial correspondente. Cando hai coxeración e non se inclúe o consumo eléctrico derivado da coxeración, si o consumo eléctrico da rede pública e si o consumo enerxético do combustíbel ou combustíbeis utilizados en coxeración.
- $P_{i,0}$: Produción material actual da industria “i” ou do complexo industrial correspondente. Unicamente se inclúen nesta variábel os materiais principais, os subprodutos ou materiais secundarios obtidos no proceso de produción dos materiais principais correspondentes non se inclúen para o cálculo da intensidade enerxética.

A intensidade carbónica calcúlase para cada complexo e industria do seguinte xeito:

²⁴ Se nalgún complexo non se utilizan os cinco anos deste período temporal para o cálculo do ano promedio por algún motivo en particular, isto explícase no apartado correspondente da sección 7.3. O subíndice “i” fai referencia á industria correspondente, e é substituído polo nome da industria á cal se estean referindo ditas magnitudes. Aquí o termo industria pode referirse a tanto a un complexo industrial en particular coma a un conxunto de complexos cuxo proceso produtivo e materiais producidos sexan moi similares. O subíndice “0” indica que estas magnitudes se refiren ao momento actual (ano promedio do período de estudo, 2015-2019), en oposición ao subíndice “f” (que será aplicado máis adiante) relativo aos valores calculados para 2050, que representan o momento final do período de descarbonización considerado na estratexia.

$$IC_{i,0} = \frac{EM_{CO_2,i,0}}{P_{i,0}}$$

Onde:

- $IC_{i,0}$: intensidade carbónica actual da industria “i” ou do complexo industrial correspondente.
- $EM_{CO_2,i,0}$: emisións de CO_2 actuais da industria “i” ou do complexo industrial correspondente.
- $P_{i,0}$: produción material actual da industria “i” ou do complexo industrial correspondente. Unicamente se inclúen nesta variábel os materiais principais, os subprodutos ou materiais secundarios obtidos no proceso de produción dos materiais principais correspondentes non se inclúen para o cálculo da intensidade carbónica.

As emisións de CO_2 de cada complexo obtéñense de dous xeitos: as emisións de proceso mediante cuestionario individualizado, e as emisións de combustión mediante a metodoloxía da Guía IPCC 2006 para emisións procedentes da combustión estacionaria (Gómez & Watterson, 2006). A maiores, a cada complexo se lle solicitan os datos de emisións totais de CO_2 . Nos casos nos que non se reciben datos de emisións do complexo pero si se pode calcula-las emisións de combustión en base a consumos enerxéticos e ao Rexistro PRTR, calcúlanse tamén as emisións de proceso como a resta entre as totais e as de combustión.

As emisións de combustión de cada complexo calcúlanse mediante o método de nivel dous para a elección dos factores de emisión con factores de emisións a nivel de país²⁵ (MITERD & OECC, 2020: 4-7) e o método de nivel 3 para a recopilación dos datos de actividade (consumos de combustíbeis, mediante cuestionario individualizado a nivel de planta industrial). A ecuación de cálculo das emisións correspóndese co nivel 2, e é a seguinte²⁶:

$$EM_{CO_2} = E_c * FE_{CO_2,c}$$

²⁵ En España existen datos de factores de emisión para o período de análise (2015-2019).

²⁶ O subíndice “c” é representa ao combustíbel ao cal se estean referindo as variabeis.

Onde:

- EM_{CO_2} : Cantidad de emisións de CO_2 xeradas pola combustión dun determinado combustíbel.
- E_c : consumo do combustíbel correspondente, medido en unidades de masa, volume ou enerxía, segundo estea expresado o factor de emisión asociado.
- $FE_{CO_2,i,c}$: factor de emisión do combustíbel correspondente²⁷.

Neste método de cálculo (o método de nivel 2) non se teñen en conta factores como a tecnoloxía de combustión, as condicións de uso, a tecnoloxía de control, a calidade do mantemento nin antigüidade do equipo usado para a combustión; pois as emisións derivadas da combustión de CO_2 son independentes destes factores.

En canto ás emisións bioxénicas (procedentes da combustión de biomasa ou produtos derivados da biomasa ou de procesos de liberación de carbono bioxénico por reaccións diferentes á combustión), adóptase a metodoloxía da Guía IPCC. Segundo esta metodoloxía, as emisións de CO_2 correspondentes contabilízanse nas categorías CRF 3: “Agricultura” e 4: “Cambios nos usos do solo e silvicultura”; non así as emisións de N_2O e CH_4 , que se contabilizan onde son producidas. Por conseguinte, a substitución nunha actividade industrial dun combustíbel fósil ou materia prima (por exemplo, axente redutor) por biomasa ou un produto derivado da biomasa (por exemplo, biocombustíbeis ou carbón vexetal) supón unha mitigación do 100% das emisións directas de CO_2 en dita industria (Garg & Weitz, 2019).

As emisións derivadas do consumo de combustíbeis para a posta en funcionamento de maquinaria móbil industrial non se inclúen neste traballo e, por tanto, o diagnóstico das emisións refírese unicamente a aquelas que si se están considerando. Outras emisións que nun principio si se consideran (as da categoría CRF: 2.D: “Produtos non enerxéticos e uso de disolventes” e outras emisións difusas²⁸), non recibiron en ningún caso caracterización por parte dos complexos

²⁷ As incertidumes dos factores de emisión de CO_2 para os combustíbeis fósiles son relativamente baixas (Gómez e Watterson, 2006, p. 38).

²⁸ Aquí entrarían emisións coma as derivadas do transporte, manipulación e almacenamento de materias primas.

industriais nin atopamos datos que as permitan cuantificar nestes complexos. Por conseguinte e non ignorando que poidan existir, afirmacións coma “o 100% das emisións de CO₂ do complexo industrial son debido á combustión de gas natural” deben entenderse baixo esta consideración metodolóxica.

A información necesaria para elaborar este diagnóstico obtívose principalmente por dúas vías: enquisas individualizadas a cada complexo industrial e consulta de cadansúas autorizacións ambientais integradas (en adiante AAI). A maiores, acudiuse ao Rexistro PRTR e páxinas web cando estas dúas fontes non foron suficientes, e realizáronse preguntas adicionais a determinados complexos industriais. Estas preguntas adicionais foron diferentes para cada complexo e realizáronse para aclarar determinadas cuestións en base á información que estes subministraron.

O proceso de recollida de información mediante cuestionario ás empresas durou dos meses e tivo lugar entre o luns sete de decembro de 2020 luns oito de febreiro de 2021. O cuestionario pode atoparse no anexo II. A taxa de resposta²⁹ foi do 36% e a calidade da resposta, moi heteroxénea. Algúns complexos responderon por vía oral ofrecendo datos para un único ano e información moi escueta sobre o proceso produtivo. Outros, responderon tal e como se lles indicou: resposta por escrito con toda a información pedida e na forma indicada. No anexo III explícase en termos cualitativos a calidade da resposta de cada complexo industrial enquisado.

6.2.3. Elaboración dunha estratexia para a descarbonización das IIEs galegas en coherencia con 1,5°C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas.

En base aos obxectivos de redución de emisións, o diagnóstico realizado e unha extensa revisión de recente literatura sobre alternativas tecno-económicas de descarbonización nas IIEs, formúlase a estratexia ou senda de descarbonización en

²⁹ Taxa de resposta é igual a número de respostas recibidas entre o total de enquisas realizadas multiplicado por 100.

coherencia co obxectivo climático 1,5°C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas. Esta estratexia defínese en termos de obxectivos de redución de emisións, transformacións produtivas e requerimentos materiais, enerxéticos e tecnolóxicos para implementar ditas transformacións; con estas características sectorializadas por industria³⁰. En coherencia con isto, para aquelas industrias para as cales non se puido recopilar información para o 100% dos seus complexos industriais que forman parte do obxecto de estudo non se calculan os requerimentos enerxéticos e materiais; si se identifican e formulan o resto de compoñentes da estratexia sectorial correspondente. O horizonte temporal da estratexia é o ano 2050, aínda que a senda de redución de emisións se establece ata 2100.

Esta estratexia está composta por 16 subestratexias (ou estratexias sectoriais) de descarbonización, unha por industria. Para cada industria identifícase e calcúlase a seguinte información (sempre que se puido realizar un diagnóstico completo da súa estrutura produtiva e emisións de CO₂): PD, CTM, CTE, as alternativas de descarbonización (en adiante ADs) que se espera que o logren e os requerimentos materiais, enerxéticos e tecnolóxicos para levar a cabo estas ADs.

No tocante ás transformacións produtivas (ADs) propostas nas IIEs, identifícanse os cambios nos procesos industriais que permiten, aplicados conxuntamente, reduci-las emisións de acordo coa senda LED e situa-la intensidade enerxética material de cada industria en valores iguais ou inferiores aos indicados neste escenario³¹. Para a selección de ADs tense en conta de xeito especial o nivel de preparación tecnolóxica (en adiante TRL) de cada AD (en boa medida debido a que a senda de descarbonización da senda LED é moi forte no curto prazo) e as condicións particulares de cada complexo industrial (por exemplo,

³⁰ Utilízase o termo industria neste traballo para referirse ao conxunto de complexos industriais con características produtivas similares (esencialmente procesos produtivos semellantes). Normalmente é identificábel co concepto clase CNAE09 (rama de actividade a catro díxitos CNAE09). Para referirse ao complexo industrial ou á propia instalación onde teñen lugares os seus procesos produtivos industriais se usan os termos complexo industrial, fábrica, planta ou o abreviado “complexo”

³¹ A intensidade enerxética de cada industria esperábel coas transformacións recollidas na senda LED recóllese no marco teórico, na subsección 5.2.3.

en termos de procesos produtivos) e de Galicia en xeral (por exemplo, en termos de recursos).

A tipoloxía das transformacións propostas pode establecerse do seguinte xeito: aumentos na eficiencia enerxética (reducións na intensidade enerxética material), transición cara un suministro enerxético baixo ou nulo en emisións e cambios (melloras, innovacións) nos procesos que emiten CO₂ “de proceso”. Maiores accións de eficiencia enerxética cás recollidas na estratexia son viabeis na IIE galega mediante a aplicación de técnicas xa dispoñíbeis ou emerxentes (que se espera que estean dispoñíbeis para cando a tecnoloxía correspondente remate o seu ciclo de vida) (Chan, Yeen, Kantamaneni, & Allington, 2015). Este aspecto non é abordado exhaustivamente no traballo por dous motivos: as melloras son bastante modestas³² e a magnitude e nivel de detalle que require unha análise con certo grao de precisión sobrepasa os límites de extensión desta investigación³³. Nalgúns casos, sen embargo, si é posíbel determinar con certa exactitude o nivel de aforro enerxético esperábel en cada complexo industrial obxecto de estudo, tanto con mellores técnicas dispoñíbeis coma con innovacións; nestes casos as ADs correspondentes son incorporadas a cada subestratexia.

A senda de redución de emisións que determina a selección de ADs proposta na estratexia e a ausencia de CCS e tecnoloxías de emisións negativas (que limita a variedade de ADs consideradas) van en consonancia coa senda LED.

³² A enerxía aforrada en condicións de rendibilidade (para un período de recuperación do investimento de entre menos de dous e de cinco anos) en comparación co consumo enerxético proxectado ata 2050 como continuación das tendencias actuais. Sen embargo, os valores reais para os complexos obxecto de estudo poderían ser inferiores debido fundamentalmente a dous motivos. Por un lado, non tódalas accións de eficiencia enerxética que subxacen tralos valores anteriores son aplicabeis para tódolos complexos (en función das tecnoloxías e características dos procesos produtivos que teñen lugar neles), pois cada sector indicado contén unha heteroxeneidade de subsectores e industrias que non se corresponde biunivocamente coa tipoloxía de complexos industriais das IIEs obxecto de estudo dentro do mesmo sector industrial (Chan et al., 2015). E, por outro, parte destas medidas de eficiencia enerxética non serían aplicabeis ou non terían os resultados máximos esperabeis trala aplicación das ADs, debido a que os procesos e tecnoloxías poden cambiar (por exemplo, a electrificación de fornos sería incompatíbel coa mellora na eficiencia da combustión nos mesmos fornos).

³³ Requeriría por un lado, un análise específico por complexo industrial en relación ás características das tecnoloxías e ás condicións dos procesos que nel interveñen para poder identifica-las medidas susceptíbeis de ser implementadas no complexo; e por outro, unha estimación da enerxía aforrada esperábel.

Selecciónase esta senda porque é a senda de mitigación de cambio climático compatible con 1,5°C máis coherente co desenvolvemento humano sostíbel, como se indicou trala revisión bibliográfica, porque a súa probabilidade de logralo obxectivo climático mencionado é das máis elevadas (máis do 60%), e porque permite dar marxe á existencia de erros, imprecisións ou desviacións na implementación das transformacións tecnoeconómicas e sociais coherentes coa mesma sen que estes desemboquen necesariamente en escenarios de mitigación compatibles con 1,5°C altamente difíciles de lograr e con elevados riscos dende o punto de vista ecolóxico (ver subsección 5.1.2).

A información dispoñíbel sobre a senda de redución de emisións en LED para a industria conta con obxectivos decenais de redución de emisións para dúas primeiras categorías CRF: Procesamento de enerxía e Procesos industriais. Dentro da categoría Procesamento de enerxía, as actividades de combustión (que son orixe de emisións) están dispersas (en maior ou menor medida) ao longo de tódolos sectores económicos (Eurostat, 2015). Isto débese en parte a que as emisións por combustión prodúcense, entre outros sectores, no transporte, o cal ocorre en practicamente tódolos sectores económicos. Por tanto, non existe unha correspondencia biunívoca entre estas dúas categorías e os sectores obxecto de estudo. Isto quere dicir que a senda LED non ofrece datos precisos e individualizados sobre cal debería se-lo ritmo de redución de emisións nas IIEs. Non obstante, as emisións producidas nas IIEs si están contidas nas dúas categorías mencionadas; por conseguinte aplícase ás industrias obxecto de estudo esta senda de redución de emisións, a cal exclúe as emisións bioxénicas (Grubler, A., Wilson, Bento, Boza-Kiss, Krey, McCollum et al., 2018a). Ponse o foco exclusivamente no CO₂ porque este gas representa máis do 99% das emisións de GEI nos complexos industriais obxecto de estudo (agás en Megasa Siderúrgica e Repsol Coruña, onde representan o 96,4% e o 98,15%, respectivamente, segundo a análise sectorial realizada na sección 7.1. Na subsección 7.2 cuantifícanse decenalmente estes obxectivos de redución de emisións adoptados nesta estratexia para as IIEs galegas.

As transformacións tecnoeconómicas necesarias para cumprir con estes obxectivos de mitigación non se reducen exclusivamente a transformacións do lado do produtor, senón que abarcan tamén o modelo de consumo. Do mesmo xeito, as transformación no modelo de produción requiridas para descarboniza-las IIEs non se limitan unicamente ás industrias obxecto de estudo, senón que existe unha dependencia intersectorial na implementación de estratexias de descarbonización. Isto débese a que para descarboniza-la industria requírense materiais e enerxía que son producidos noutros sectores (por exemplo, carbón vexetal para a produción de silicio neutro en carbono ou biogás como fonte de enerxía para unha ampla variedade de procesos industriais) ou a que os materiais producidos neutros en emisións deben ser consumidos noutros sectores como insumos ou polo consumidor final, como se indica anteriormente (por exemplo, biocombustíbeis producidos na industria manufacturera que alimenten o modelo de transporte). Nesta investigación, sen embargo,ponse o foco nas transformacións produtivas que deben realiza-las IIEs e non se analizan con exhaustividade a forma de implementar estratexias noutros sectores ou no modelo de consumo que possibiliten ou faciliten a descarbonización das IIEs galegas. Non obstante, si se reflexan na estratexia de descarbonización das IIEs proposta ditas transformacións produtivas noutros sectores ou nos patróns de consumo requiridas³⁴, e se identifican certas transformacións requiridas tanto noutros sectores coma no modelo de consumo para posibilita-la descarbonización nestas industrias.

En coherencia cos obxectivos do traballo e co enfoque de emisións directas aplicado, non se identifican aquelas transformacións nas IIEs que permitan reducir emisións en sectores situados atrás na cadea de valor se estas non producen beneficios en termos de emisións na IIE correspondente pero si os produce nos outros sectores. Esta cuestión é importantes para a descarbonización e a transición enerxética do conxunto dunha economía, mais sitúase fóra do alcance desta investigación.

³⁴ Por exemplo, non se propoñen estratexias para desmaterializa-las industrias mediante cambios nos patróns de consumo, pero si se reflexan nos cambios produtivos propostos os valores de desmaterialización indicados en LED.

As proxeccións de demanda enerxética realizadas para cada industria calcúlanse en base ás proxeccións sectoriais de produción material utilizadas, á intensidade enerxética esperada como resultado de aplica-las ADs correspondentes e aos valores de desmaterialización propostos en LED, segundo se indica nas seguintes ecuacións.

$$E_{i,f} = P_{i,f} * IE_{i,f}$$

Onde:

- $E_{i,f}$: Demanda enerxética estimada da industria “i” no momento final do período de estudo (ano 2050).
- $P_{i,f}$: Produción material proxectada da industria “i” no momento final do período de estudo (ano 2050).
- $IE_{i,f}$: Intensidade enerxética material proxectada da industria “i” no momento final do período de estudo (ano 2050).

$IE_{i,f}$ obtense de multiplica-la intensidade enerxética material actual (promedio do período 2015-2019 analizado) polo coeficiente de transición enerxética de cada industria (o cal se define a continuación):

$$IE_{i,f} = IE_{i,0} * CTE_i$$

Onde:

- $IE_{i,0}$: Intensidade enerxética actual da industria “i”.
- $IE_{i,f}$: Intensidade enerxética estimada da industria “i” no momento final do período de estudo (ano 2050).
- CTE_i : Coeficiente de transición enerxética da industria “i”. Indica o peso relativo que representaría a intensidade enerxética na industria “i” unha vez aplicada-las ADs correspondentes con respecto á intensidade enerxética actual. Toma valores entre 0 e 1, onde 0 indica que a industria deixa de consumir enerxía (caso irrealista) trala aplicación das ADs correspondentes; e 1, que a aplicación das ADs en dita industria non produce melloras na eficiencia enerxética. Obtense da seguinte maneira:

$$CTE_i = 1 - FEE_i$$

Onde FEE_i é o factor de eficiencia da industria “i”, o cal se calcula da seguinte forma:

$$FEE_i = \sum_{AD=1}^n FEE_{i,AD}$$

Onde $FEE_{i,AD}$ é o FEE da industria “i” producido pola implementación da alternativa de descarbonización “AD”, sendo “n” o número de alternativas de descarbonización da industria “i”. $FEE_{i,AD}$ calcúlase do seguinte xeito:

$$FEE_{i,AD} = FEE_{i,AD,p} * e_{i,p}$$

Sendo:

- $FEE_{i,AD,p}$: o factor de eficiencia enerxética de “AD” no proceso “p” na industria “i”. Indica o porcentaxe que o aforro enerxético esperado coa aplicación de “AD” suporía sobre o total de enerxía consumida no proceso no complexo industrial ou industria correspondentes, excluindo os efectos do cambio de fonte de enerxía³⁵. Vén dado pola literatura sobre descarbonización das IIEs da cal se obtén a información sobre a AD correspondente.
- $e_{i,p}$: consumo enerxético unitario do proceso “p” na industria “i”. É o peso relativo do consumo enerxético do proceso “p” na industria “i” sobre o consumo enerxético total de dita industria. Exprésase en tanto por un. Obtense a través do diagnóstico da estrutura produtiva de cada industria.

$P_{i,f}$ calcúlase a partir das proxeccións de produción material estimadas para cada industria ou material e os valores de desmaterialización propostos en LED (os multiplicadores de desmaterialización). Cando non existen proxeccións para unha industria, adóptase o multiplicador de eficiencia material proposto en LED e calcúlase a produción material final con estes dous multiplicadores. Neste caso adóptase entón a hipótese que o resto de factores socioeconómicos (crecemento

³⁵ Nalgúns casos coma a substitución de gas natural por hidróxeno, existirían variacións no rendemento enerxético do proceso debido a este cambio de fonte de enerxía. Isto, sen embargo, non se ten en conta neste traballo. Asíse por tanto neses casos un $FEE_{i,AD,p}$ igual a cero a efectos de simplificación metodolóxica.

demográfico, crecemento económico, etc.) non condicionan a evolución da demanda ou produción material da industria. Cos multiplicadores de eficiencia material e desmaterialización e a taxa de variación da produción material segundo proxeccións a longo prazo elabórase un coeficiente, o coeficiente de transición material (en adiante CTM), o cal permitiría a partir dos niveis de produción actuais dunha industria calcular (coas hipóteses indicadas) os niveis de produción en 2050. O cálculo de $P_{i,f}$ resumiríase na seguinte fórmula:

$$P_{i,f} = P_{i,0} * CTM_i$$

Onde:

- $P_{i,0}$: Produción material actual ou inicial (relativa ao ano promedio do período temporal utilizado no diagnóstico) da industria “i”.
- CTM_i : Coeficiente de transición material da industria “i”. Este coeficiente se expresa en tanto por un e se calcula mediante a seguinte fórmula:

$$CTM_i = MD_i * \Delta P_i$$

Onde:

- MD_i : Multiplicador de desmaterialización da industria “i”. Toma valores entre 0 e 1, onde 1 indica que non hai reducións na produción material na industria “i” por vía da desmaterialización tal e como se considera esta neste traballo; e 0, produción desaparece en dita industria debido a estratexias de desmaterialización. Os seus valores tómanse da senda LED. MD_i aplícase porque as proxeccións de produción material non inclúen estratexias desmaterialización, tal e como se define esta en LED³⁶.
- ΔP_i : Taxa de variación da produción anual da industria “i”. É igual ao cociente entre a produción final e inicial anuais do período de proxección. Valores superiores a un indican que a produción anual aumenta no período de proxección; valores entre cero e un, que a produción diminúe. Obtense de diferentes fontes e en base a certas hipóteses, as cales se detallan no anexo V.

³⁶ Ver subsección 5.2.3 apartado IV para consulta-la definición de desmaterialización.

En base a CTM e ao factor de mitigación de cada industria (definido a continuación), calcúlase o potencial de descarbonización a nivel sectorial do seguinte xeito:

$$\text{Se } FM_i = 1 \rightarrow PD_i = 1$$

$$\text{Se } FM_i < 1 \rightarrow PD_i = 1 - CTM_i + FM_i * CTM_i$$

Onde:

- PD_i : potencial de descarbonización da industria “i”. É unha medida do peso relativo que representan as emisións de CO₂ mitigabeis mediante as transformacións produtivas propostas (reducións na produción material e no modo en que se producen estes materiais) para a industria “i” en 2050 con respecto ás emisións actuais. Permite avaliar en cada industria o seu grao de cumprimento da senda de descarbonización formulada.
- FM_i : factor de mitigación da industria “i”. É o peso relativo que representan as emisións mitigadas mediante ADs con respecto ás emisións totais iniciais en tanto por un. Toma valores entre 0 e 1, onde 0 indica que non se reducen emisións de CO₂ na industria “i” por cambios nas formas de produción e 1, que as emisións de CO₂ en dita industria se reducen ao 100%, de acordo coa metodoloxía adoptada neste traballo (exposta con anterioridade nesta sección).

Por último, as necesidades de I+D identifícanse a partir do TRL das distintas ADs ou do ano que se prevé que entren ao mercado. Neste traballo as necesidades de I+D désígnanse como “requerimentos tecnolóxicos”.

Finalmente, unha vez elaboráda-las estratexias sectoriais de descarbonización, agréganse estas a nivel de todo o universo de estudo (as IIEs analizadas). Isto permite identificar en último termo os requerimentos enerxéticos, materiais e tecnolóxicos para o conxunto das industrias intensivas enerxeticamente en Galicia obxecto de estudo para a súa descarbonización en consonancia con 1,5°C sen utilizar CCS nin tecnoloxías de emisións negativas.

7. RESULTADOS

7.1. PERFIL SECTORIAL DE EMISIÓN GEI NA INDUSTRIA MANUFACTUREIRA EN GALICIA

Nesta sección expóñense os resultados da análise sectorial das emisións GEI en Galicia no período 2015-2019 na industria manufactureira e, máis concretamente, na IIE. Os resultados inclúen as emisións de orixe bioxénico (procedentes de biomasa). Estas emisións, sen embargo, son consideradas neutras a efectos da estratexia de descarbonización. Os resultados son de elaboración propia a partir de datos do Rexistro PRTR (2018a; 2018b; 2019; 2020b; 2020c) e do Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadoiro (MITERD, 2020a)). Esta última fonte se emprega exclusivamente para compara-los valores das industrias (manufactureira e intensivas enerxeticamente) co total galego do conxunto da economía e se utiliza o período 2015-2018 por non haber datos relativos ao ano 2019.

7.1.1. Perfil sectorial de emisións GEI directas na industria manufactureira en Galicia.

A industria manufactureira en Galicia emitiu á atmosfera entre 2015 e 2019 un promedio anual³⁷ de 4515,92 ktCO₂eq³⁸; o 99,11% destas emisións foron CO₂. Isto supuxo o 15,26% do total de GEI emitidos en Galicia. A media de emisións por complexo industrial foi de 66,41 ktCO₂eq/ano; a mediana, de 8,80 ktCO₂eq/ano (relativas aos 69 complexos industriais na industria manufactureira con emisións por enriba de cero no período de estudo). Neste período houbo certos cambios interanualmente, mais non excesivamente pronunciados, agás o aumento do

³⁷ O promedio está calculado como se indica na subsección 6.2.1: non é exactamente promedio anual, pois para certos complexos non se contabilizan certos anos. Para afirmar que son valores relativos ao ano promedio entre 2015 e 2019 habería que asumir que, nos complexos cuxos datos non están dispoñíbeis para a serie completa, nos anos nos que non hai emisións no Rexistro PRTR estanse producindo as mesmas emisións cas do ano promedio do período no que si hai emisións.

³⁸ Exclúense as emisións de PFCs de Alu Ibérica entre 2015 e 2019 e Aluminio Español en 2015 e 2018 e as emisións de HFCs de Frinsa del Noroeste en 2017 e Central Térmica de Ciclo Combinado As Pontes entre 2017 e 2019 por non ter recibido resposta destes complexos ao cuestionario enviado.

20,17% que se produxo entre 2016 e 2017 (véxase gráfico 2). Isto explícase en boa medida pola eliminación do umbral de información pública en 2017. Tamén se pode destaca-la redución que houbo entre 2018 e 2019: un 7,79%.

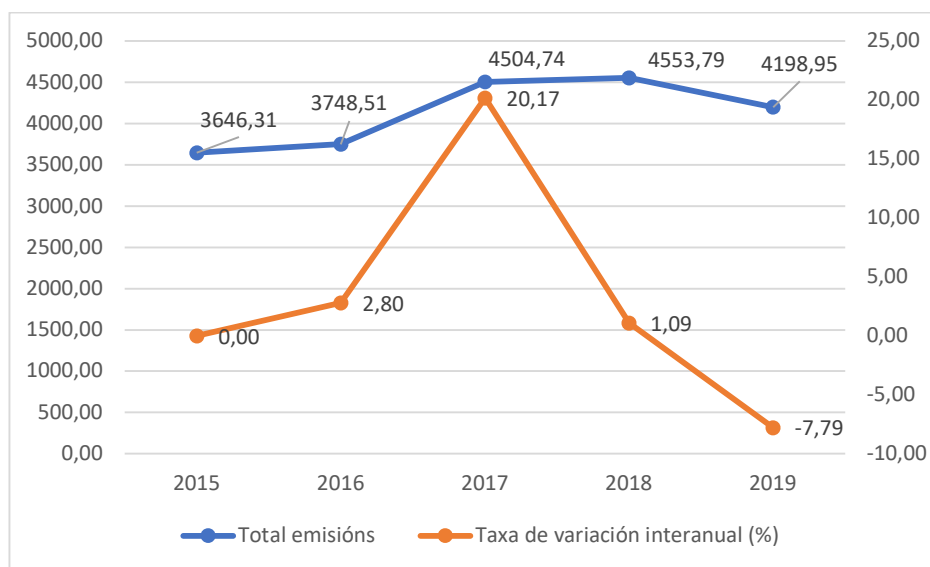


Gráfico 2: Emisións GEI na industria manufacturera en Galicia segundo o Rexistro PRTR (ktCO₂eq) (2015-2019). Elaboración propia a partir de datos do Rexistro PRTR (2018a; 2018b; 2019; 2020b; 2020c)

Nun período temporal máis amplo (1990-2016), a tendencia de evolución das emisións por combustión en plantas industriais e por procesos sen combustión é decrecente, con valores en 2016 un 9,3% (Xunta de Galicia, 2019a, pp. 63-64) e un 29,46% inferiores aos de 1990 (Xunta de Galicia, 2019a, pp. 69-70), respectivamente.

A distribución de emisións GEI a nivel de divisións CNAE09 amosa dous grupos de industrias con comportamentos ben diferenciados (véxase gráfico 3). Por un lado están as industrias con nulas ou moi baixas emisións en comparación coa media. Son as ramas de actividade “Fabricación de bebidas”, “Industria do tabaco”, “Industria téxtil”, “Confección de roupa de vestir”, “Industria do coiro e do calzado”, “Artes gráficas e reprodución de soportes gravados”, “Fabricación de produtos farmacéuticos”, “Fabricación de produtos de caucho e plásticos”, “Fabricación de produtos metálicos, agás maquinaria e equipamento”, “Fabricación de produtos informáticos, electrónicos e ópticos”, “Fabricación de material e equipamento

eléctrico”, “Fabricación de maquinaria e equipamento n.c.n.”, “Fabricación de vehículos de motor, remolques e semirremolques”, “Fabricación doutro material de transporte”, “Fabricación de mobles”, “Outras industrias manufactureiras”, “Reparación e instalación de maquinaria e equipamento”. Por outro lado están as industrias intensivas en emisións: “Industria da alimentación”, “Industria da madeira e da cortiza, agás mobles; cestaría e espartaría”, “Industria do papel”³⁹, “Coquerías e refinación de petróleo”, “Industria química”, “Fabricación doutros produtos minerais non metálicos” e “Metalurxia; fabricación de produtos de ferro, aceiro e ferroalixes”. Neste segundo grupo hai grandes diferenzas entre o nivel de emisións das distintas industrias. Sete das 24 divisións CNAE09 emitiron o 97,62% de GEI de toda a industria manufactureira no ano promedio do período 2015-2019.

³⁹ A industria do papel é posíbel que teña datos erróneos no Rexistro PRTR e poderían ser moi superiores (incluíndo as de orixe bioxénico). Isto dedúcese do cálculo das emisións no complexo industria Ence Pontevedra na subsección 7.3.1.

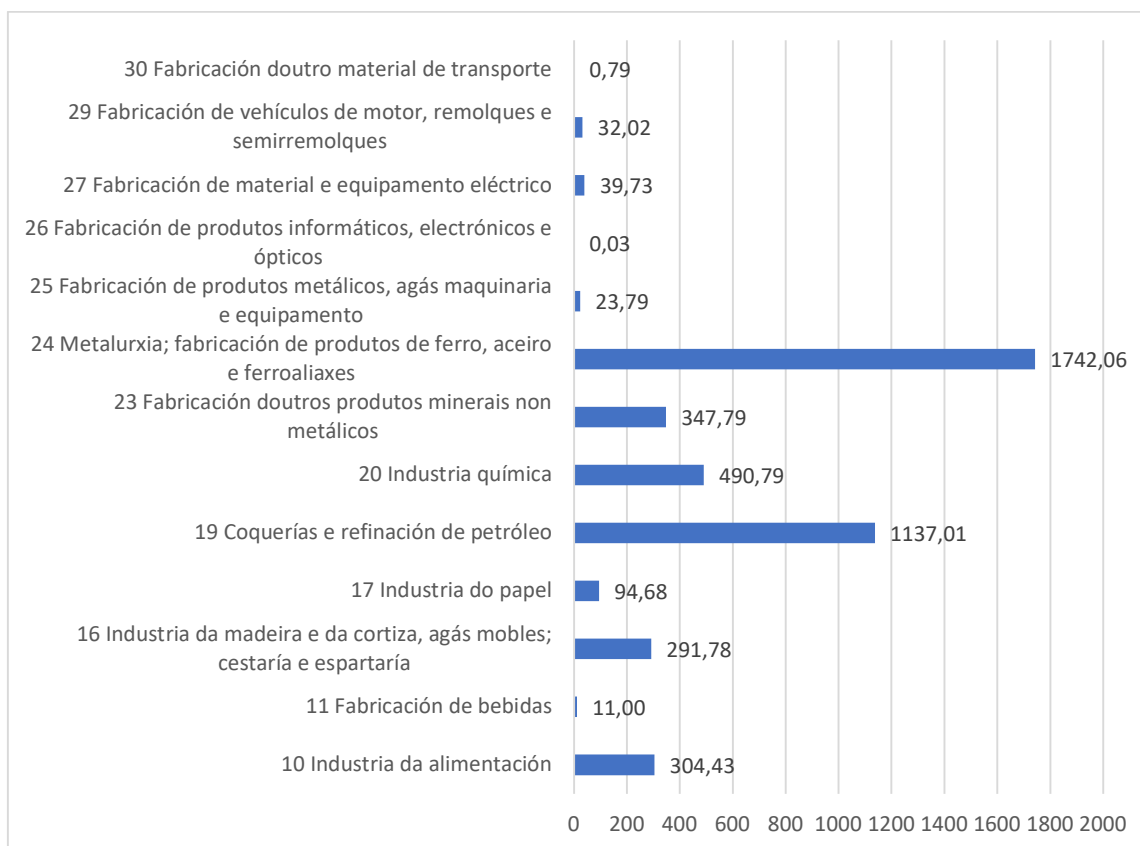


Gráfico 3: Perfil sectorial de emisións GEI directas anuais en Galicia na industria manufacturera segundo o Rexistro PRTR (serie 2015-2019) (ktCO₂eq). Elaboración propia a partir de datos do Rexistro PRTR (2018a; 2018b; 2019; 2020b; 2020c). Exclúense as industrias cuxas emisións GEI son cero no Rexistro PRTR no período considerado.

Entre 2015 e 2019, a industria manufacturera que máis GEI emitiu á atmosfera en Galicia foi “Metalurxia; fabricación de produtos de ferro, aceiro e ferroalixes”, con 1742,06 ktCO₂eq/ano; a segunda foi “Coquerías e refinación de petróleo”, con 1137,01 ktCO₂eq/ano, e a terceira, “Industria química”, con 490,79 ktCO₂eq/ano.

7.1.2. Perfil sectorial de emisións GEI directas nas IIEs galegas.

As IIEs galegas emitiron o 84,42% das emisións GEI da industria manufacturera e o 12,88% do total de emisións GEI en Galicia no período 2015-

2019⁴⁰: 3812,33 ktCO₂eq/ano, sendo o 99,42% destas emisións CO₂. Isto indica que a IIE é en Galicia un sector da economía de significativo peso relativo no conxunto da economía e de gran peso no conxunto das industrias manufactureiras en termos de emisións de GEI. Por conseguinte, merecen recibir atención en traballos sobre descarbonización da economía galega e, sobre todo, da industria manufactureira galega.

Como se pode apreciar no gráfico 4, existe unha elevada disparidade no nivel de emisións GEI nos distintos complexos industriais que forman parte das industrias intensivas enerxeticamente en Galicia. Sete dos 25 (o 28%) complexos industriais obxecto de estudo concentraron o 77,6%) das emisións GEI entre 2015-2019 (ano promedio) segundo os datos do Rexistro PRTR indicados. A media de emisións nestes 25 complexos foi 152,49 ktCO₂eq/ano e a mediana, 94,68 ktCO₂eq/ano.

⁴⁰ Para o total de emisións GEI en Galicia utilízase o período 2015-2018 por non haber datos relativos ao ano 2019.

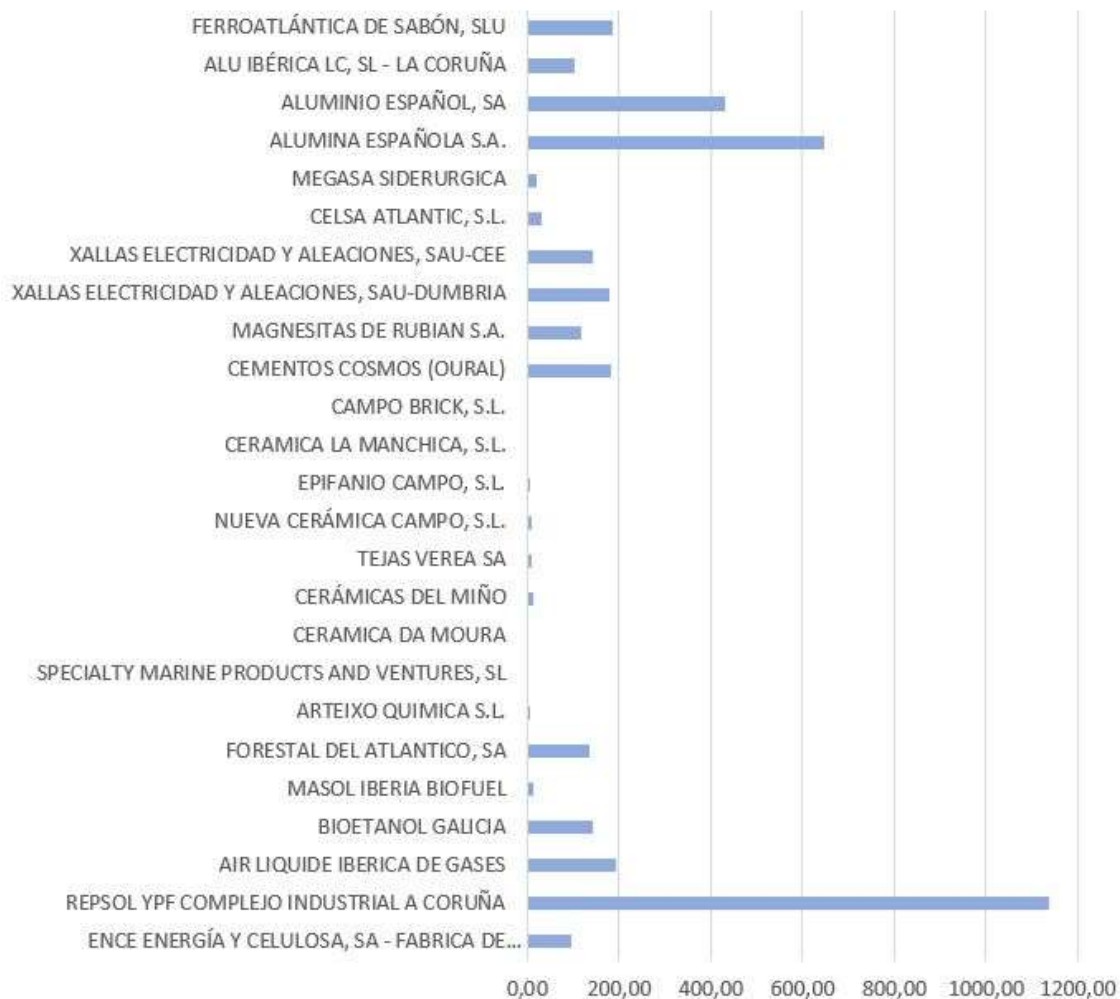


Gráfico 4: Perfil de emisións GEI directas anuais nas IIEs galegas segundo o Rexistro PRTR (serie 2015-2019) (ktCO₂eq). Elaboración propia a partir de datos do Rexistro PRTR (2018a; 2018b; 2019; 2020b; 2020c). Exclúense os complexos sen emisións GEI.

Os complexos que máis contribuíron ao quecemento global en Galicia dentro do grupo das IIEs entre 2015 e 2019 son (por orde de máis a menos) “Repsol YPF, complexo industrial A Coruña” (industria de refinación de petróleo), co 29,8%; “Alúmina Española S.A.” (industria de fabricación de alúmina), co 16,9%, e “Aluminio Español S.A.” (industria de produción de aluminio), co 11,3%. Tódolos complexos con emisións pertencentes á IIE agás sete (o 72%) estiveron en termos de emisións GEI por enriba da mediana do total de complexos con emisións na industria manufacturera; é dicir, forman parte do 50% de complexos industriais con máis emisións GEI na industria manufacturera en Galicia.

5.2. VISIÓN GLOBAL DA ESTRATEXIA. ANÁLISE AGREGADO DAS TRANSFORMACIÓNS PROPOSTAS NA IIE GALEGA.

Nesta sección preséntanse de forma agregada os datos e resultados sectoriais para o conxunto do universo de estudo, ofrecendo así unha visión global das características da estratexia de descarbonización elaborada froito desta investigación. Cabe ter en conta que esta estratexia non abarca o 100% das IIEs galegas nin o 100% das emisións GEI nas IIEs obxecto de estudo, tal e como se indicou na metodoloxía; non obstante, si abarca o groso de emisións, complexos industriais e procesos produtivos das IIEs presentes en Galicia. De aquí en adiante utilízase a expresión “IIEs galegas” para referirse ao grupo de complexos industriais que foi obxecto de estudo.

A senda de redución de emisións directas de orixe non bioxénico, concretamente de CO₂, establecida para as IIEs galegas en termos de reducións con respecto a 2020 con obxectivos decenais cuantifícase na táboa 4. Estes obxectivos de mitigación correspóndense cos establecidos pola senda LED para as categorías CRF “Procesamento de enerxía” e “Procesos industriais sen combustión”, segundo se especifica na subsección 6.2.3.

Táboa 4: Senda de redución de CO ₂ proposta para as IIEs galegas (%)							
2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
53,6	78,6	91,1	96,1	98,1	99,0	99,4	99,4

Expóñense os obxectivos de redución de emisións ata 2100 pero dado que as proxeccións de produción material utilizadas son ata 2050⁴¹, emprégase o horizonte 2050 para avalia-la descarbonización das IIE galegas. Nas seccións 7.2.2 e 5.3 descríbese como se vai lograr esta senda de mitigación sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas; a subsección 7.2.1 describe o escenario socioeconómico que subxace trala estratexia de descarbonización proposta en

⁴¹ Agás a do aceiro e o cemento, que están dispoñíbeis ata 2070.

consonancia con esta senda de mitigación e coas transformacións produtivas que a permiten lograr.

7.2.1. Escenario socioeconómico que subxace trala estratexia de descarbonización.

A senda de descarbonización formulada neste traballo constrúese en base a certas hipóteses relativas aos niveis de produción (ou demanda) de materiais básicos e ao ritmo e orientación do progreso tecnolóxico nas próximas décadas. As hipóteses relativas ao progreso tecnolóxico permiten asumir que é posíbel (con maior ou menor celeridade) o desenvolvemento das distintas ADs non dispoñíbeis tecnoloxicamente actualmente; nestas hipóteses baséase, por tanto, a selección de ADs proposta na estratexia, detallada na subsección 7.2.2 e nos estudos sectoriais (sección 7.3). As hipóteses relativas á produción material permiten calcula-lo potencial de descarbonización e a demanda enerxética de cada industria.

A adopción destas hipóteses realízase en coherencia cun determinado escenario social, económico e tecnolóxico (en adiante desígnase como “escenario socioeconómico” para establecer unha nomenclatura coherente coas SSPs descritas no marco teórico): o escenario socioeconómico subxacente trala senda de descarbonización formulada.

Este escenario é equivalente ao escenario subxacente trala senda LED, pois esta é a senda a nivel global na que se encadra a senda para as IIEs galegas. Non obstante, cabe ter en conta que, se ben este escenario subxace trala senda LED, non necesariamente ten por que replicarse ao 100% para Galicia: o escenario describe tendencias globais, non desagregadas por rexións mundiais nin moito menos por rexións nacionais. Por conseguinte, procede a describirse o escenario socioeconómico global que subxace trala senda de descarbonización formulada, puntualizando determinadas características para a rexión Norte Global cando é posíbel.

Falando nos mesmos termos cás SSPs expostas no marco teórico, o escenario subxacente trala estratexia de descarbonización presentada para as IIEs

galegas é, por tanto, unha mestura entre SSP1 e SSP2 e está caracterizado polos seguintes elementos (Grubler, A., Wilson, Bento, Boza-Kiss, Krey, McCollum et al., 2018b; Grubler, Arnulf et al., 2018): as variabeis poboación, crecemento económico e progreso tecnolóxico seguen tendencias similares ás observadas historicamente; o tipo de consumo é orientado medioambientalmente; os estilos de vida son eficientes en recursos; a demanda anual de enerxía redúcese en gran medida con respecto aos niveis actuais tanto a nivel global (cerca dun 40% entre 2020 e 2050) coma no Norte Global (máis dun 50% entre 2020 e 2050) e o progreso en termos de desenvolvemento sostíbel é elevado en moitos dos ODSs, especialmente no dous (fame), tres (saúde), sete (enerxía), 13 (clima), 14 (ecosistemas mariños) e 15 (ecosistemas terrestres).

En canto ao modelo de consumo, este caracterízase (en liña coas variabeis “estilos de vida”, “tipo de consumo” e “demanda enerxía e alimentos”) por unha forte tendencia cara a desmaterialización, a eficiencia material e a economía circular. Estas estratexias permiten reduci-la demanda de bens industriais de 1,2 t/persoa/ano en 2020 a 0,7 t/persoa/ano en 2050 no Norte Global (de 1 t/persoa/ano a 0,7 t/persoa/ano entre 2020 e 2050 globalmente) e transitar cara formas de produción máis eficientes enerxeticamente (Grubler, A. et al., 2018b, pp. 56-62). A redución da demanda (e por tanto, da produción) de materiais básicos vén dada pola desmaterialización e a eficiencia material; a redución da intensidade enerxética das IIEs, pola economía circular⁴². Os cambios no modelo de consumo que posibilitan a desmaterialización consisten no aumento da utilización dos bens mediante o aumento do consumo dos servizos que proporcionan os bens e a menor adquisición privada dos bens⁴³. As reducións debidas á eficiencia material veñen dadas por estratexias diferentes: extensión da vida útil dos produtos, intensificación do seu uso, minimización das perdas nos procesos produtivos, reutilización de componentes, substitución material de produtos, ecodeseños para menor cantidade

⁴² O concepto de economía circular inclúe tamén estratexias de eficiencia material tal e como se describen neste traballo; pero a eficiencia material non inclúe tódalas estratexias de economía circular (Ellen Macarthur Foundation, n.d.), por iso se realiza esta distinción.

⁴³ Un exemplo é o incremento do uso do transporte público en detrimento da adquisición de automóviles privados.

de material e desvío de chatarra⁴⁴. En canto ao aumento da eficiencia enerxética nas IIEs pola vía da economía circular, esta sucede grazas ao aumento das taxas de reciclaxe na sociedade, o cal posibilita o incremento das rutas secundarias de produción en termos relativos⁴⁵.

En relación ao modelo enerxético, ademais de reducirse en gran medida a demanda de enerxía final ao longo do período de transición tanto na industria coma no conxunto da economía, o escenario de transición enerxética caracterízase por (Grubler, A. et al., 2018b, pp. 76-98): unha rápida e masiva electrificación da enerxía final, unha rápida diminución da intensidade carbónica na xeración eléctrica ata chegar a cero en 2050 e unha progresiva diminución da intensidade carbónica da enerxía final non eléctrica ata situarse en valores negativos de 2070 en adiante, sendo en 2050 positiva. Este escenario de transición enerxética posibilita, por exemplo, o abandono gradual e drástico do petróleo como fonte de enerxía primaria, o cal ten repercusións na produción material da industria de refinación de petróleo, como se detalla na subsección 7.3.2.

Adicionalmente, tamén se asumen na formulación da estratexia de descarbonización para as IIEs galegas certas hipóteses doutros escenarios, coma o Sustainable Development Scenario (en adiante, SDS) da Axencia Internacional da Enerxía (2020a) e calquera dos empregados por Bazzanella e Ausfelder (2017), na medida en que se empregan as súas proxeccións de produción material para o cemento, o aceiro e o bioetanol. Estes escenarios, non obstante, son parciais, xa que carecen de certas variabeis económicas e sociais. En canto aos escenarios de Bazzanella e Ausfelder, os catro que empregan conteñen idénticas proxeccións de produción de bioetanol na Unión Europea e defínense en termos de transformacións produtivas no sector químico, contendo graos variabeis de transformación tecnolóxica. SDS caracterízase por un modelo de consumo eficiente en termos

⁴⁴ O desvío de chatarra consiste na reutilización ou reacondicionamento de chatarra sen necesidade do seu procesamento en IIEs. A reutilización de compoñentes refírese a procesos nos que non se reprocesa o material, senón que se reutiliza directamente. Un exemplo é o desmantelamento de automóbiles e a reutilización dos seus compoñentes (Allwood e Cullen, 2012).

⁴⁵ As rutas secundarias son aquelas nas que os procesos de fabricación utilizan materia prima reciclada en vez de minerais, que son as materias primas utilizadas nas rutas primarias.

materiais cun nivel de ambición similar ao de LED e por unha transición enerxética que permite cumprir co acordo de París sen tecnoloxías de emisións negativas e cos seguintes obxectivos de desenvolvemento sostíbel (en adiante, ODS) da Organización das Nacións Unidas: acceso universal á enerxía (ODS 7) e redución dos impactos severos da contaminación do aire na saúde humana (ODS 3) (Axencia Internacional da Enerxía, 2020b). En conclusión e salvando pequenos matices coma a diferenza na ambición climática entre SDS e a senda de descarbonización formulada neste traballo, as proxeccións adoptadas para estes tres materiais (aceiro, cemento e bioetanol) están en liña co escenario socioeconómico descrito anteriormente.

7.2.2. Transformacións produtivas: senda de redución de emisións, alternativas de descarbonización e requerimentos enerxéticos, materiais e tecnolóxicos.

A estratexia ou senda de descarbonización proposta senta as bases e establece as directrices para unha descarbonización das IIEs galegas en coherencia co obxectivo climático de 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas mediante dous tipos de transformacións produtivas: reducións na produción material e cambios no modo en que se producen os materiais básicos⁴⁶; a segunda é o que se denomina “alternativas de descarbonización” (ADs) neste traballo. Estas ADs que conducen á descarbonización da IIE galega en liña co obxectivo climático de 1,5 °C consisten en innovacións de proceso, cambios nas fontes de enerxía e reducións na intensidade enerxética. Todo iso é consecuencia de cambios nos procesos produtivos das IIEs e nos modelos de consumo, cambios que deben ir acompañados por cambios noutros sectores, como por exemplo o enerxético subministrando as fontes de enerxía requiridas polas industrias.

⁴⁶ Ademais de materiais básicos, tamén nos estamos referindo aquí ao resto de materiais ou produtos froito de actividades secundarias nas IIEs obxecto de estudo. Para simplificar, utilízase a expresión “materiais básicos” para referirse a tódolos materiais que producen as IIEs.

A transformación do modelo produtivo das IIEs galegas proposta na senda de descarbonización está marcada en termos xerais por elevadas reducións na intensidade carbónica. A intensidade enerxética tamén diminúe: aínda que resulta difícil estimar esta magnitude para a maioría das industrias por ausencia (total ou parcial) de datos sobre cadanseus consumos enerxéticos, moitas das ADs propostas conteñen un FEE menor que un. Coa evolución destas magnitudes, lógrase unha descarbonización case do 100% para 2050 para as IIEs galegas nas cales se puido calcular PD, sen facer apenas uso de CCU sen facer ningún uso de CCS nin tecnoloxías de emisións negativas. Para tódalas industrias para as cales foi posíbel calcular PD agás para dúas lógrase o obxectivo de descarbonización requerido en 2050: $PD=0,911$. Desas dúas, unha (industria do aceiro) achégase moito a ese valor, a outra permanece afastada (industria doutros produtos minerais non metálicos). As catro industrias para as cales non se puido calcular PD explícanse nos estudos sectoriais; polo menos dúas delas (cemento e ferroalixes) ten moi boas perspectivas de descarbonización sen CCU.

A táboa 5 recolle numérica e sectorialmente esta análise cos indicadores que definen o potencial de descarbonización e a transición enerxética: CTE, FM, CTM e PD. Pódese observar que a pesares de non poder calcular CTE e CTM para moitas industrias si se obtivo FM, o cal determina PD cando o primeiro é do 100%. Pese a non poder realizar estimacións da produción material e o consumo enerxético en moitas industrias, sábese que o escenario que caracteriza á senda na cal se enmarca a senda aquí formulada é un escenario de redución significativa da enerxía final e da produción material na industria manufactureira no Norte Global. Concretamente, a enerxía final anual redúcese un 56,7% e a produción material anual per cápita un 41,7% entre 2020 e 2050; a intensidade enerxética material faino un 26,0% (Grubler, A. et al., 2018b, p. 62).

Para as industrias que sen CCU non chegan a $PD=0,911$ propóñense dúas vías. Unha delas é a aplicación de CCU na industria en cuestión. Non obstante, dado o elevado custe desta tecnoloxía e a incertidume asociada ao seu desenvolvemento tecnolóxico, unha opción máis interesante semella se-la

compensación das emisións que están por debaixo da senda marcada por parte doutras industrias ou sectores. Esta sería a segunda vía.

Táboa 5: Transición industrial das IIE galegas (2020-2050). Principais indicadores.				
Industria	Indicadores de transición			
	CTE_i	FM_i	CTM_i	PD_i
Pasta papeleira	n.d.	1,00	n.d.	1
Produtos petrolíferos	n.d.	0,25	0,12	0,912
Gases industriais	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bioetanol	n.d.	1,00	1,37	1
Biodiésel	n.d.	1,00	1,5	1
Colas	n.d.	1,00	n.d.	1
Outros produtos químicos	n.d.	1,00	n.d.	1
Aceites e graxas industriais	n.d.	1,00	n.d.	1
Cerámica	0,45	1,00	n.d.	1
Cemento	n.d.	Elevado	0,89	Elevado
Magnesita cáustica	0,42	0,38 sen CCU; 0,94 con CCU	n.d.	n.d.
Ferroalixes	1	n.d.	n.d.	n.d.
Aceiro	n.d.	0,82	0,73	0,898 sen CCU; 0,987 con CCU
Alúmina	n.d.	1,00	n.d.	1

Aluminio	n.d.	1,00	n.d.	1
Silicio	1	1,00	n.d.	1

A transición industrial descrita no relativo á transición enerxética e carbónica (representada por CTE e FM) lógrase mediante a implementación dun total de 40 alternativas de descarbonización. Estas ADs clasifícanse en cinco grupos en función do cambio tecnolóxico ou produtivo que introducen: transición enerxética, eficiencia enerxética, substitución material, outras innovacións de proceso e CCU. Estas ADs recóllense a modo de inventario no anexo VI clasificadas por industria (clasificadas por conxunto dos complexos industriais cun proceso produtivo idéntico ou similar) e complexo industrial coa seguinte información: categoría das emisións á que afectan (proceso, combustión ou ambas, segundo clasificación CRF), nome, tipo de AD, TRL ou ano de entrada, $FEE_{i,AD,p}$, factor de mitigación de proceso (en adiante, $FM_{i,p}$), CTE_i , FM, CTM_i e PD_i . $FM_{i,p}$ indica en que medida diminuiría a intensidade carbónica do proceso ao que a AD afecta na industria correspondente, *ceteris paribus*; toman valores entre cero e un, onde un indica que se logra unha descarbonización absoluta e cero, que non hai cambios na intensidade carbónica do proceso correspondente na industria correspondente.

Para que se poidan dar moitas destas ADs é necesario introducir innovacións (principalmente de proceso) nestas industrias. Un elemento chave e central na estratexia de descarbonización formulada é, por tanto, a innovación. Unha gran parte das ADs propostas están baseadas en tecnoloxías todavía non presentes no mercado e que requiren I+D. Isto xera unha serie de requerimentos tecnolóxicos, para os cales é necesario dedicar importantes esforzos en I+D centrados e accelera-la I+D+i a un ritmo que permita implementa-las ADs cumprindo cos obxectivos decenais de mitigación. A I+D debe reorientarse cara ao desenvolvemento das tecnoloxías que permiten descarboniza-la IIE galega, concretamente as tecnoloxías que se detallan nesta estratexia. En canto ás ADs xa dispoñibéis, a súa implementación debe realizarse a un ritmo suficientemente rápido como para que os obxectivos decenais de redución de emisións se cumpran e a sendade mitigación

siga unha tendencia paulatinamente decrecente mentres non están dispoñíbeis ADs novedosas e máis ambiciosas. En liña con isto, os cambios nos procesos produtivos xerarán tamén a necesidade de contar con recursos humanos capacitados e con coñecemento para manexa-las novas tecnoloxías ou características produtivas dos procesos.

En canto aos requerimentos enerxéticos e materiais, unha identificación dos mesmos a nivel cualitativo foi realizada. Nalgúns casos tamén se puideron cuantificar; na maioría deles non, por falta de datos non subministrados polos propios complexos industriais. Na táboa 6 recóllense estes requerimentos a nivel cualitativo; os materiais clasifícanse por complexo industrial.

Táboa 6: Inventario de requerimentos enerxéticos e materiais				
Enerxía		Materiais		
Actuais	Substitutivas	Complexo industrial	Actuais	Substitutivos
Gasóleo, residuos non bioxénicos e coque de petróleo	Biomasa	Ence Pontevedra	Compostos químicos inorgánicos	Solventes eutécticos profundos
Gas natural e combustíbeis fósiles dos fornos de calcinación (coque e semiantracita)	Biogás		-	Biomasa (opcional)
	Hidróxeno	Repsol Coruña	Petróleo cru	Biomasa: residuos forestais, cultivos enerxéticos, plantas acuáticas, cultivos agrícolas e os seus residuos (incluíndo os animais)...
Combustíbeis fósiles e residuos non bioxénicos	Residuos bioxénicos: lodos de depuradora, graxa animal, serraduras, madeira...	Air Liquide	Nafta e GLP	Gas natural e/ou biogás
Produtos petrolíferos	Produtos biopetrolíferos	Bioetanol Galicia	-	Cereais
Combustíbeis fósiles	Electricidade		Cereais (opcional)	Biomasa alternativa: macroalgas mariñas, residuos forestais ou agrícolas, biomasa lignocelulósica, cereais de proximidade...
		Masol Iberia	-	Aceite de soia, palma e colza

		Aceite de soia, palma e colza (opcional)	Biomasa graxa alternativa: aceite reciclado, graxa animal e aceites producidos en proximidade.
	Cementos Cosmos Oural	Caliza e marga/lousa	Minerais con baixo contido en caliza (por exemplo, wollastonita) para CCSC.
			Bauxita, residuo de bauxita (barro vermello) ou outros minerais con alto contido en alúmina (igual ou superior ao 16,4%) para BYF
			Silicatos magnésicos para MOMS
			Arcilla calcinada, pedra caliza moída e diluínte
	XEAL Dumbría e XEAL Cee	Axentes redutores fósiles (hulla e coque)	Carbón renovábel (madeira e carbón vexetal)
	XEAL Cee	Coque de petróleo calcinado	Coque de biopetróleo calcinado
		Antracita	n.d.
	Aluminio Español e Alu Ibérica LC	Alúmina	Aluminio reciclado posconsumo
		Ánodos de carbono	Ánodos inertes

	Ferroatlántica de Sabón	Axentes redutores fósiles (hulla e coque)	Carbón renovábel (madeira e carbón vexetal)
		Pasta electrometalúrxica	Pasta electrometalúrxica libre de materiais fósiles
		Grafito	n.d.
Nota: n.d.: dato non dispoñíbel			

Os requerimentos enerxéticos poden avaliarse en termos de fonte de enerxía, aínda que de xeito impreciso: en numerosas ocasións existen varias fontes de enerxía susceptibles de seren utilizadas (segundo se indica no inventario de ADs e nas subestratexias)⁴⁷. A selección entre alternativas de transición enerxética está determinada en boa medida pola dispoñibilidade de recursos enerxéticos e o seu prezo.

En canto aos requerimentos materiais, están motivados polas características das distintas transformacións produtivas propostas: determinadas materias primas serán necesarias para implementar certas ADs, á vez que outras deixaránse de empregar (total ou parcialmente). Outro tipo de requerimentos materiais está motivado pola implementación de tecnoloxías CCU se estas tecnoloxías se implementan finalmente. Estas tecnoloxías xeran un subproduto, o CO₂ capturado, que debe ser inserido nalgún material para evita-la súa liberación cara a atmosfera⁴⁸. Existen varias rutas para a utilización deste CO₂: mineralización, conversión biolóxica, e conversión química (Global CCS Institute, 2019); algúns exemplos do uso de CO₂ como insumo material son: fraguado de cemento, cultivo de algas e fabricación de polímeros, respectivamente.

Por último, un carto tipo de requerimentos da descarbonización son os de capital. Unha identificación sistemática e exhaustiva destes non foi realizada nesta investigación, pero estímase que a implementación das transformacións produtivas propostas xerará en ocasións aumentos nos custos de operación (OPEX) e requirirá en moitos casos importantes investimentos en activos fixos (CAPEX), en base ao indicado na literatura consultada. Exemplos son a incorporación de materias primas de maior custe coma minerais con alto contido en alúmina ou a substitución de grandes equipos industriais coma fornos de calcinación para unha menor intensidade enerxética do proceso de calcinación, respectivamente.

⁴⁷ Exemplos disto son: AD “H₂ ou biogás” en Megasa Siderúrgica e “H₂” e “Electrificación da calcinación” en Magnesitas de Rubián

⁴⁸ O seu almacenamento mediante CCS queda excluído das ADs desta estratexia polos motivos indicados en seccións anteriores e a súa utilización para producir combustíbeis non evitaría a súa liberación, cousa que sucedería no momento de consumi-lo combustíbel.

7.3. ESTUDOS SECTORIAIS: DIAGNÓSTICO DA ESTRUTURA PRODUTIVA DAS IIEs EN GALICIA E FORMULACIÓN DE ESTRATEXIAS SECTORIAIS PARA A SÚA DESCARBONIZACIÓN.

Nesta sección expóñense a nivel sectorial (clases CNAE09) os resultados do diagnóstico da estrutura produtiva dos complexos industriais obxecto de estudo en termos de uso de enerxía, produción material, emisións de CO₂ e procesos produtivos para o período 2015-2019; e formúlase unha estratexia de descarbonización para cada IIE galega. Estas estratexias conteñen as transformacións produtivas necesarias nas IIEs galegas para conseguir unha senda de redución de emisións coherente co obxectivo climático 1,5°C e os requerimentos enerxéticos, materiais e tecnolóxicos (de I+D) para implementar estes cambios produtivos en función das proxeccións de produción material e intensidade enerxética esperables para cada industria⁴⁹. As transformacións produtivas ou alternativas de descarbonización (en adiante, ADs) están ademais enfocadas a reduci-la intensidade enerxética de cada industria, en consonancia co escenario LED, un escenario de baixa demanda enerxética. Cabe destacar, tamén, que os requerimentos enerxéticos ou proxeccións de demanda enerxética que se calculan e indican na estratexia son os adicionais aos que existen actualmente⁵⁰. A demanda enerxética indícase sectorialmente en unidades enerxéticas; as unidades de volume e masa se ofrecen de forma agregada na sección 7.2 para o conxunto das IIEs obxecto de estudo.

A clasificación sectorial das subestratexias de descarbonización realízase por clase CNAE09. Isto implica que nunha mesma rama de actividade poden estar mesturados procesos produtivos que pertencen á propia clase CNAE e procesos que non pertencen. Isto realízase así para evitar dividir un mesmo complexo en sectores diferentes; os complexos industriais están clasificados nun ou noutro sector

⁴⁹ Os requerimentos materiais e enerxéticos no período de descarbonización cuantifícanse só para aquelas industrias para as cales se atoparon proxeccións sólidas ou facilmente aplicables ao caso galego de produción ou demanda material a longo prazo. Para o resto de industrias calcúlanse en base aos valores actuais de produción.

⁵⁰ Por exemplo, se a demanda enerxética non aumenta nin varía de fonte de enerxía coa descarbonización proposta, os requerimentos enerxéticos serían cero.

en función da súa actividade principal (do mesmo xeito que no Rexistro PRTR). En coherencia con isto, a estratexia de descarbonización resultado desta investigación inclúe as seguintes 13 ramas de actividade (clases CNAE09): fabricación de pasta papeleira; refinación de petróleo; fabricación de gases industriais; fabricación doutros produtos básicos de química orgánica; fabricación doutros produtos químicos non clasificados noutra parte; fabricación de azulexos e baldosas de cerámica; fabricación de ladrillos, tellas e produtos de terras cocidas para a construción; fabricación de cemento; fabricación doutros produtos minerais non metálicos non clasificados noutra parte; fabricación de produtos básicos de ferro, aceiro e ferroalixes; produción de aluminio e produción doutros metais non férreos. Un total de 25 complexos industriais forman parte da estratexia de descarbonización.

Con carácter xeral para tódolos complexos que o precisen, as emisións pequenas derivadas da combustión en pequenos aparatos auxiliares (por exemplo, sopletes, bombas contraincendios...) pódense mitigar con sinxelos cambios de combustíbel. Concretamente, propónse a utilización de hidróxeno ou biocombustíbeis para substituír aos produtos petrolíferos e o gas natural empregados actualmente. Os estudos sectoriais que se presentan nesta sección exclúen, por tanto, estas emisións, mitigábeis coa AD de carácter xeral indicada neste parágrafo, e esta alternativa de descarbonización, explicitada xa aquí con carácter xeral.

Os resultados que se expoñen nesta sección refírense unicamente aos complexos obxecto de estudo. Aínda que se mencionan os termos “industria” e “sector”, a cal está composta tanto por complexos obxecto de estudo coma (nalgúns casos) por complexos non pertencentes ao obxecto de estudo, exclúense estes últimos complexos cando se fai referencia ao conxunto da industria ou sector correspondente.

Nos casos nos que non se dispón de información abondo como para realizarlo diagnóstico completo da estrutura produtiva e as emisións e a formulación

completa da subestratexia segundo se indica no marco metodolóxico (subseccións 6.2.2 e 6.2.3), omítese por norma xeral a parte correspondente.

7.3.1. Pasta papeleira

Un só complexo industrial forma a industria de pasta papeleira en Galicia: “Ence Energía y Celulosa, SA - Fábrica de Pontevedra” (en adiante, Ence Pontevedra), pertencente á empresa Ence Energía y Celulosa, S.A. (Rexistro PRTR-España, 2020a)

Estrutura produtiva e emisións

Ence Pontevedra produce celulosa de eucalipto (Ence, n.d.b). A celulosa, pasta de papel, pasta papeleira ou pasta de celulosa é unha materia prima para a elaboración de papel.

Neste complexo, a celulosa prodúcese mediante procesamento químico (Ence, n.d.c). O proceso produtivo consta de catro fases: (1) descortezado e astillado da materia prima (madeira de eucalipto), (2) cocción das astillas en grandes recipientes chamados dixestores, (3) lavado e blanqueo das fibras de celulosa resultantes do proceso anterior e (4) secado das mesmas. No proceso de cocción a madeira procésase a elevada presión e temperaturas de entre 150 e 170 °C utilizando un licor que contén produtos químicos inorgánicos para separar a lignina e obter así as fibras de celulosa. Este proceso denomínase delignificación. O licor resultante contén os compostos químicos inorgánicos xunto coa lignina, e é procesado para obter os compostos químicos inorgánicos (que se reutilizan na cocción) e enerxía (Ence, n.d.a; Ence, n.d.c; Naqvi, Yan, & Dahlquist, 2010).

A produción material en Ence Pontevedra entre 2015 e 2019 aumentou lixeiramente (un 6%) e cabe esperar que no futuro siga subindo pola ampliación realizada no complexo: pasouse de 470.000 a 500.000 t/ano. A intensidade enerxética reduciuse un 6,7% (sen contar o licor negro nin a biomasa para a xeración de vapor, pois non hai datos dispoñíbeis publicamente). A enerxía

consumida no complexo é electricidade, fuelóleo, coque⁵¹, propano, biomasa e licor negro. A maior parte da enerxía eléctrica consumida é obtida da combustión da biomasa utilizada como materia prima para a produción material (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2018a; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2019b; Ence, 2018; Ence, 2020; Ence, n.d.a). No gráfico 5 refléxase o consumo enerxético por fontes e a produción material para o período de estudo. Non se dispón de datos relativos á biomasa nin ao licor negro, mais parte da biomasa se inclúe intrinsecamente na electricidade, pois é unha fonte de enerxía primaria para xerar electricidade e vapor.

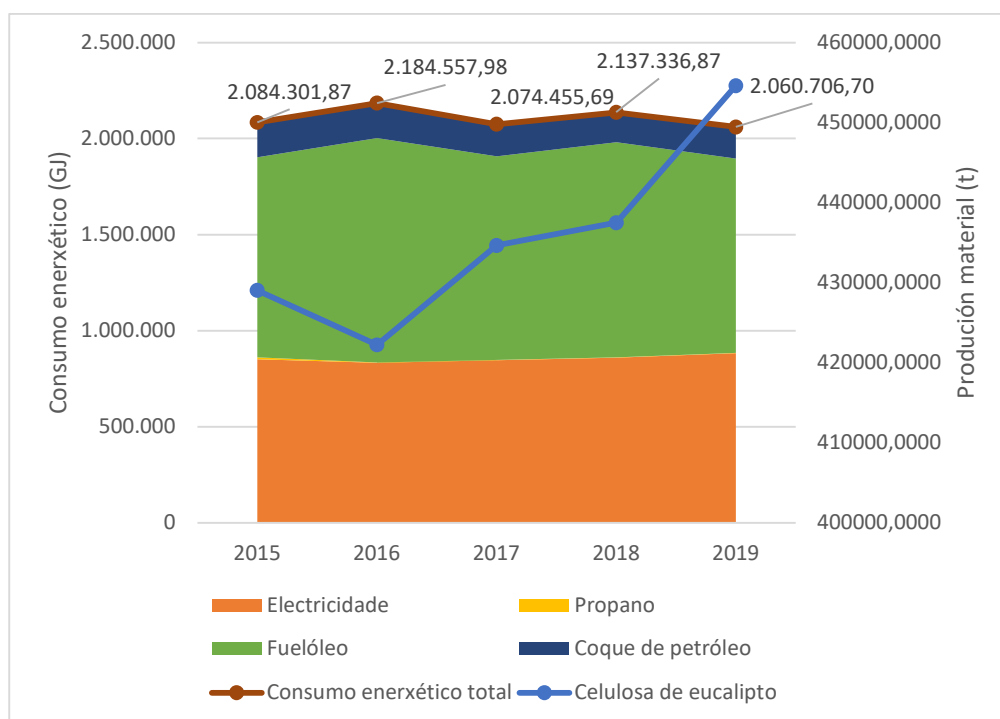


Gráfico 5: Producción material e consumo de enerxía final. Ence Pontevedra, 2015-2019. Exclúese o licor negro e a biomasa por non haber datos.

As emisións de CO₂ de combustión de orixe fósil en Ence foron 98,77 ktCO₂/ano entre 2015 e 2019, con unha diminución entre 2015 e 2019 do 4,5%⁵². Esta redución debeuse en boa medida a cambios na intensidade carbónica, a cal

⁵¹ Utilízase só na caldeira de biomasa cando o poder calorífico desta non é suficiente.

⁵² Datos de elaboración propia en base a datos sobre consumos de combustíbeis fósiles no complexo industrial entre 2015 e 2019 dispoñíbeis nas declaracións ambientais da empresa (Ence, 2018; Ence 2020).

caeu un 9,9% no mesmo período; actualmente (ano 2019) é de 0,2030 tCO₂/t. Pese a que hai proceso de calcinación de lodos de cal, asúmese que non xera emisións de proceso por dous motivos: en primeiro lugar, non existen emisións de proceso atribuídas á división CNAE09 17 nas contas de emisións (Eurostat, 2015) e, en segundo lugar, as emisións de combustión segundo cálculos en base aos datos das declaracións ambientais indicadas resultan lixeiramente superiores ás total do complexo segundo o Rexistro PRTR. Por último, tamén hai emisións de combustión bioxénicas procedentes de biomasa e licor negro. Neste traballo asúmense como válidas as emisións de combustión calculadas a partir dos consumos de combustíbeis fósiles.

As emisións de combustión prodúcense na combustión de fuelóleo, coque e propano en dúas caldeira e tres fornos de calcinación. O fuelóleo proxéctase substituír por gas natural nos fornos de calcinación; desta forma, o uso de fuelóleo tería lugar só nos procesos de arranque e parada das caldeiras, así como nas paradas preventivas para o mantemento das instalacións (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2018a; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2019b). O coque é un combustíbel de apoio na caldeira de biomasa e o propano emprégase no acendido inicial de caldeiras e fornos, coma o fuelóleo.

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización de Ence Pontevedra é do 100%. O coeficiente de transición enerxética non se pode calcular sen datos relativos aos consumos enerxéticos por proceso; o coeficiente de transición material é, empregando unicamente MD e ME, igual a 0,5.

As ADs propostas para Ence Pontevedra consisten na substitución de combustíbeis. Outras transformacións produtivas permitirían ademais reduci-la intensidade enerxética do complexo industrial, aínda que non se pode calcular en que medida por falta de datos sobre determinados consumos enerxéticos. Expóñense en primeiro lugar as ADs que permitirían mitiga-las emisións carbónicas non bioxénicas.

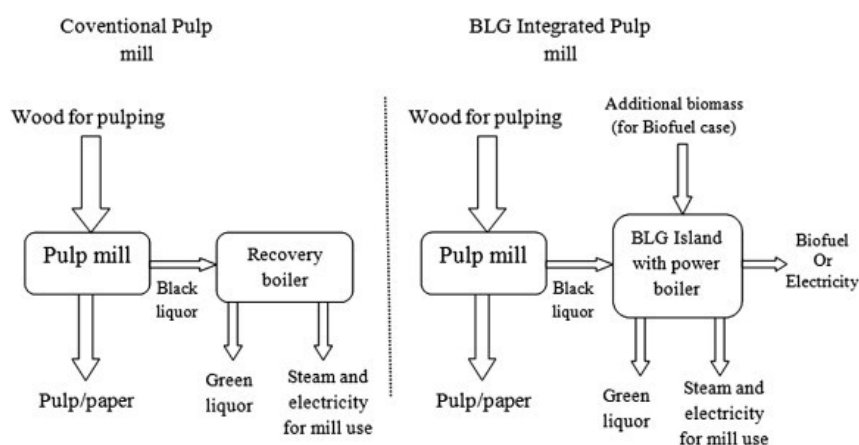
En relación á substitución de combustíbeis, débese prescindir dos combustíbeis fósiles e introducir no seu lugar os seguintes: hidróxeno nos fornos de calcinación e biofuelóleo, biocoque e biopropano nas caldeiras. Nas caldeiras existe unha alternativa a esta opción, que consiste na electrificación da xeración de vapor; neste caso, a biomasa utilizada actualmente como combustíbel quedaría libre, podéndose cumprir outras funcións na economía (servindo de base para a satisfacción dos requerimentos enerxéticos e/ou materiais doutras IIEs, por exemplo). En ambos casos, a estrutura de Ence Pontevedra sufriría unicamente variacións nos sistemas enerxéticos alimentados por estes combustíbeis (CEPI, 2013; Chan, Y. et al., 2019; Stork, M., Meindersma, Overgaag, & Neelis, 2014; Wyns et al., 2018b). De utilizar electricidade, o proceso de electrificación podería desenvolverse de forma escalonada. Primeiramente substituiríanse as caldeiras (por caldeiras electrificadas) e en segundo lugar procederíase a electrificar-lo proceso de secado⁵³. Estes cambios traerían consigo ademais aumentos na eficiencia enerxética da fábrica, cos conseguintes aforros económicos. En comparación co sistema enerxético utilizado actualmente nesta industria, os custos serían inferiores debido a inferiores necesidades en equipamento e maquinaria. Non obstante, a electrificación dos actuais sistemas de xeración de calor tería un custo. Se se utiliza en cambio biomasa en lugar de combustíbeis fósiles en vez de optar pola electrificación non habería CAPEX.

En relación á intensidade enerxética en Ence Pontevedra, aínda que non se pode cuantifica-la súa posíbel redución polos motivos indicados, sábse que se podería reducir mediante a implementación de certas transformacións produtivas. Polo mesmo motivo, non se cuantifican os requerimentos enerxéticos para esta industria.

As ADs que permitirían reduci-la intensidade enerxética da produción de celulosa de eucalipto en Galicia son (á marxe da electrificación do proceso de

⁵³ Varias tecnoloxías se poderían empregar para a electrificación do secado das fibras de celulosa: secado ultrasónico, secado por impulso, secado Condebelt, secado por microondas ou raios infravermellos e secado osmótico.

secado comentada anteriormente): gasificación do licor negro, solventes eutécticos profundos e substitución dos fornos de calcinación (horizontais rotatorios) por fornos verticais. A tecnoloxía gasificación do licor negro (en diante GLN) permitiría unha recuperación do licor de cocción máis eficiente enerxeticamente; concretamente duplica-la enerxía eléctrica xerada a partir de dito licor ou alternativamente producir biocombustíbeis (gas de síntese, metanol, hidróxeno ou dimetil éter), ademais de recupera-los químicos inorgánicos para seren reutilizados na delignificación (Fleiter, Fehrenbach, Worrell, & Eichhammer, 2012; Naqvi et al., 2010). A imaxe 5 amosa un esquema comparativo entre o dixestor convencional e un posíbel dixestor integrado con GLN.



Imaxe 5: Esquema comparativo entre o dixestor convencional e un posíbel dixestor integrado con GLN. Extraído de “Possible BLG integration with the pulp mill as a replacement of the recovery boiler”, de Naqvi et al., *Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review*.

A tecnoloxía DES permite aumenta-la eficiencia enerxética da delignificación mediante a utilización de solventes eutécticos profundos (compostos químicos alternativos aos utilizados convencionalmente); as fibras de celulosa sepáranse da lignina a baixa temperatura e presión atmosférica. Isto fai que a eficiencia enerxética aumente nun 40% con respecto á fabricación de pasta papeleira mediante procesamento químico convencional. Como subproduto deste proceso obteríase igualmente un licor de cocción composto por lignina e compostos químicos susceptibles de seren recuperados e reutilizados na cocción, como ocorre no proceso convencional (Institute for Sustainable Process Technology, n.d.; Provides,

2018); por este motivo asúmese como factíbel a combinación desta AD con GLN. Non obstante, sería adecuada investigación para determinar en que medida é posíbel aplicar GLN ao licor con solventes eutécticos profundos. A tecnoloxía DES espérase que entre no mercado en 2030, sen embargo a capacidade das plantas que utilicen esta tecnoloxía espérase que sexa notablemente inferior á das convencionais (Chan, Y. et al., 2019).

Por último, a substitución dos actuais fornos horizontais rotatorios por fornos verticais permitiría incrementa-la eficiencia enerxética da calcinación (Stork, M. et al., 2014).

Por último, cabe facer referencia ás perspectivas de produción material de celulosa de eucalipto en Galicia. Os niveis de produción poderían verse afectados por estratexias de eficiencia material, concretamente ecodeseño e substitución material, e desmaterialización. En relación ao ecodeseño na industria de papel e pasta papeleira, aínda que en LED asúmese como irrelevante, consideramos que a fabricación de papel lixeiro e resistente podería facer diminuí-los niveis de produción de celulosa (CEPI, 2013, pp. 28-29). Por outro lado, a produción material podería tamén verse influída de ocorrer unha substitución (sexo parcial ou total) de celulosa convencional (fabricado a partir de celulosa de madeira) por celulosa de papel reciclado ou celulosa fabricada a partir doutras materias primas (por exemplo, herba (Creapaper, n.d.)). Por último, escenarios de desmaterialización coma dixitalización ubicua ou unha crecente substitución de comunicación física por virtual poderían, segundo Grubler et al (2018), xerar unha redución da demanda de papel do 50%. Asumindo este valor para o multiplicador de desmaterialización e ignorando os posibles efectos da eficiencia material e factores socioeconómicos, a produción en Ence Pontevedra reduciríase á metade.

En canto aos requerimentos enerxéticos, as ADs de transición enerxética mediante substitución dos combustíbeis fósiles (e opcionalmente da biomasa) por hidróxeno, biofuelóleo, biocoque, biopropano (e opcionalmente electricidade) e eficiencia enerxética provocarían cambios cualitativos na demanda enerxética en Ence Pontevedra e novos requerimentos enerxéticos. Estes concretaríanse e

precisaríanse unha vez se coñeza que ADs se adoptan e cales son os consumos enerxéticos de biomasa deste complexo industrial, e á vez a dispoñibilidade de recursos enerxéticos e o seu prezo condicionaría as ADs adoptadas. A posibilidade de producir biocombustíbeis e e-combustíbeis con GLN ofrece vantaxes de flexibilidade na demanda e produción de enerxía neste complexo industrial.

Os requerimentos materiais para a descarbonización de Ence Pontevedra consistirían na demanda de solventes eutécticos profundos e de biomasa no caso de producir biocombustíbeis mediante GLN.

En canto aos requerimentos tecnolóxicos, as dúas ADs para a redución da intensidade enerxética na industria da celulosa (DES e GLN) non están dispoñíbeis todavía e requiren investigación e desenvolvemento. GLN presenta un TRL de 8-9 e DES, un TRL de 4. Actualmente existe un cluster para o desenvolvemento de DES que ten como obxectivo a introdución desta tecnoloxía no mercado en 2030. (Chan, Y. et al., 2019; Provides, 2018).

7.3.2. Produtos petrolíferos

A industria de refinación de petróleo en Galicia consta dun só complexo industrial: “Repsol YPF complejo industrial A Coruña” (en adiante, Repsol Coruña), pertencente á empresa Repsol Petróleo, S.A. (Rexistro PRTR-España, 2020a).

Estrutura produtiva e emisións

Repsol Coruña produce combustíbeis líquidos e gasosos (GLPs, gasolinas, querosenos, gasóleos, fuelóleos e coque), naftas, asfaltos e biocarburantes a partir de cru de petróleo, produtos petrolíferos e biocarburantes⁵⁴ (Repsol, n.d.a; Repsol, n.d.b). Tódolos combustíbeis líquidos e gasosos derivados do petróleo que se producen en Galicia orixínanse neste complexo industrial. Entre 2015 e 2019 a produción anual aumentou un 12,1%. Os biocarburantes producidos por Repsol Coruña son desprezables fronte á produción total da refinería. Os distintos produtos

⁵⁴ Xéranse tamén enerxías residuais, as cales se consómen no propio proceso, e enerxía eléctrica en réxime de coxeración cunha potencia instalada de 80MW (INEGA, 2019c).

petrolíferos obtéñense en diferentes proporcións, como se pode ver na gráfica 6⁵⁵ e poden dividirse en aqueles con uso non enerxético (para a industria petroquímica), que son naftas e asfaltos, e aqueles con uso enerxético (tódolos demais). A produción total anual de Repsol Coruña entre 2015 e 2019 foi de 5.608,96 kt/ano (INEGA, 2018; INEGA, 2019a; INEGA, 2019b; INEGA, 2020; Instituto Galego de Estatística, 2020).

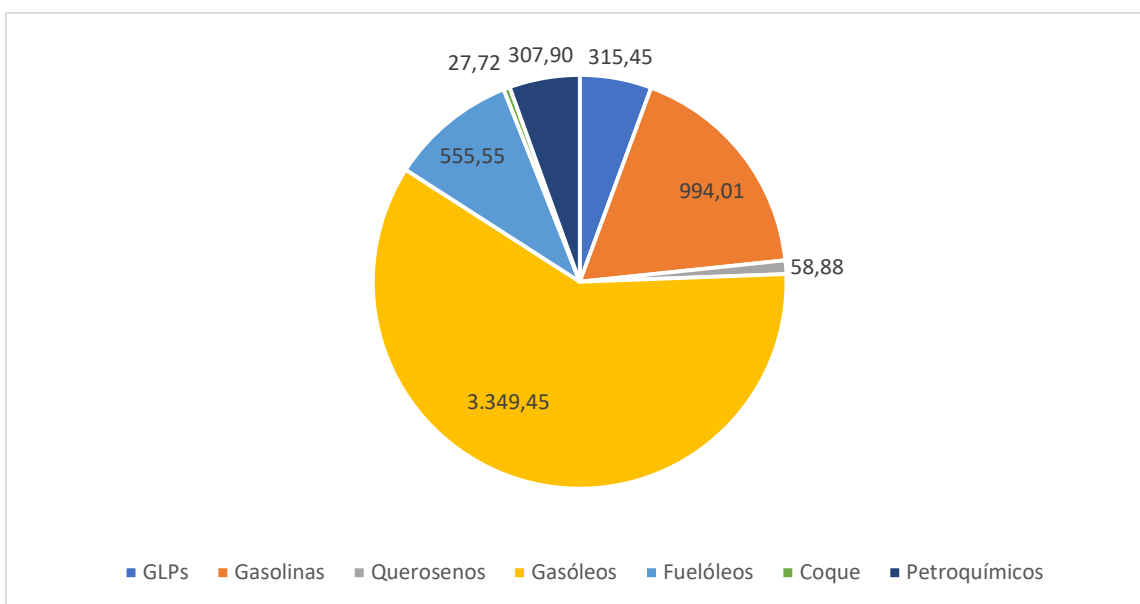


Gráfico 6: Producción anual de Repsol Coruña entre 2015 e 2019 por produto petrolífero en kilotoneladas. Elaboración propia a partir de datos de INEGA (2018; 2019a; 2019b) e IGE (2020).

O proceso produtivo consta das seguintes fases. En primeiro lugar, procédese á descarga do cru de petróleo no terminal marítimo, bombéase a través de oleoduto ata a refinería e almacénase en tanque. A continuación este entra na torre de destilación, na cal fracciónase o cru nos correspondentes produtos petrolíferos en función do seu punto de ebullición. En terceiro lugar, ten lugar o proceso de conversión dos hidrocarburos máis pesados en produtos máis lixeiros mediante craqueo catalítico (unidade de FCC) e craqueo térmico (unidade de

⁵⁵ As proporcións de cada produto petrolífero obtéñense a partir dos datos do INEGA en ktep para o período 2015-2017 e os valores totais de produción en toneladas, do IGE. Tódolos valores convírtense a kt e os datos dos anos 2018 e 2019 calcúlanse a partir dos totais do IGE e asumindo que a proporción de cada produto petrolífero obtido do cru é a mesma cá do ano promedio do período 2015-2017.

coquización). Por último, antes da expedición, lévanse a cabo outros procesamentos para obter os produtos finais: hidroxenación de butadieno, redución de osixenados, reformado de naftas pesadas... A capacidade produtiva do proceso de destilación é de 6.500.000 t/ano (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2018b).

A enerxía eléctrica e o vapor consumidos en Repsol Coruña proveñen de dúas unidades de coxeración con turbina de gas. Os combustíbeis utilizados no complexo son: gas natural, fuelóleo, gas de refinería non condensábel⁵⁶, coque de petróleo e gasóleo. Os datos públicos destes consumos son incompletos: non se ofrecen os relativos ao coque, o gasóleo nin o fuelóleo, e o gas de refinería ofrécese en toneladas sen indica-lo seu poder calorífico (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2018b).

As emisións GEI de Repsol Coruña entre 2015 e 2019 foron 1137,01 ktCO₂eq/ano e as de CO₂, 1116,00 kt/ano (o 98,2%). As emisións de CO₂ son de combustión e proceden dos combustíbeis anteriormente citados en fornos, plantas de recuperación de xofre, rexenerador de craqueo catalítico e caldeira no terminal marítimo (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2018b). As emisións fuxitivas do petróleo (e do gas natural) son desprezables na industria manufacturera (Eurostat, 2015, p. 59).

Entre 2015 e 2019 houbo unha tendencia á redución das emisións neste complexo industrial, como se observa na gráfica 7, a cal foi acompañada por unha redución na intensidade carbónica do complexo industrial: un 23,1% en 2019 con respecto a 2015. O cese da unidade de calcinación de coque a finais de 2019 pode ser un dos factores explicativo. A limitada información sobre consumos enerxéticos nesta industria dispoñíbel publicamente impide analiza-las causas deste descenso na intensidade carbónica (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2018b; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2019a; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020a; Consellería de Medio Ambiente,

⁵⁶ Este gas xérase como subproduto no propio complexo industrial.

Territorio e Vivenda, 2020b; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020c; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020e).

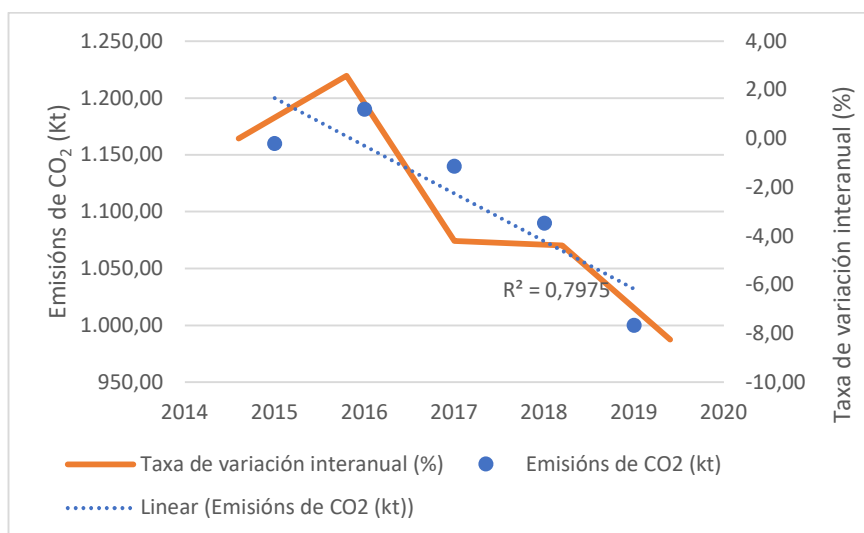


Gráfico 7: Emisións de CO₂. Repsol Coruña, 2015-2019

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización de Repsol Coruña coa estratexia proposta é de 0,912. Isto lograríase en gran medida grazas á redución da súa produción material. O factor de mitigación proposto en coherencia con isto é de 0,25, o cal se lograría mediante transformacións enerxéticas coma aumentos na eficiencia enerxética e cambios no subministro enerxético. Por outra banda, a produción de biopetróleo (estratexia de substitución material de insumos) sería necesaria, aínda que principalmente para descarboniza-lo resto de sectores da economía onde son consumidos os hidrocarburos xerados neste complexo industrial.

En coherencia coa senda de descarbonización e transición enerxética proposta que subxace trala estratexia aquí proposta, proponse unha transición da industria de refinación de petróleo ao longo das próximas décadas estruturada en tres etapas. Na fase inicial, que podería denominarse como “transición enerxética”, a estrutura produtiva da refinaría sofre cambios que permiten aumenta-la eficiencia enerxética e transitar cara un consumo enerxético en carbono nas próximas dúas-tres décadas; a incorporación de biocombustibles nos produtos petrolíferos segue unha tendencia crecente en termos relativos. Nunha segunda etapa, que podería

denominarse como “transición material”, a tecnoloxía licuefacción hidrotermal da biomasa (en adiante, LHT; descrita máis adiante) é introducida na refinaría e comézase a producir e procesar biopetróleo; a biomasa substitúe ao petróleo cru como insumo material a ritmos crecentes. Esta etapa desenvólvese arredor do segundo tercio do século XXI e permitiría a descarbonización doutros sectores e actividades (transporte, industria, calefacción doméstica...) das emisións derivadas da combustión dos produtos petrolíferos. Na última fase, a “fase de consolidación”, a refinaría obtén practicamente toda a súa produción da biomasa, a refinación é esencialmente refinación de biopetróleo; o petróleo cru entra en porcentaxes moi reducidos e decrecentes e resulta beneficioso para equilibra-la oferta e a demanda e garantir determinadas características de calidade nos produtos⁵⁷. A refinaría convértese así nunha biorrefinaría, que produce principalmente produtos biopetrolíferos.

A substitución do petróleo cru por biopetróleo espérase posíbel grazas á tecnoloxía licuefacción hidrotermal da biomasa (en adiante LHT), a cal permitiría producir este material a partir da biomasa, podendo utiliza-lo produto resultante como insumo para os procesos de refino do petróleo cru convencionais⁵⁸. Entre as fontes de biomasa adecuadas para este proceso están: residuos forestais, cultivos enerxéticos, plantas acuáticas, cultivos agrícolas, e os seus residuos (incluíndo os animais). O proceso consome entre o 10% e o 15% da enerxía contida na biomasa insumo; o seu rendemento enerxético é, por tanto, do 85-90%. A demanda enerxética é superior á do procesamento do petróleo para obte-los mesmos hidrocarburos, pois o uso da biomasa require un paso adicional: a conversión desta en biopetróleo, paso innecesario ao utilizar cru de petróleo. Esta AD conta cun TRL baixo, igual a catro; sitúase actualmente (en 2018) nunha fase transitoria entre a

⁵⁷ Algunhas fontes apuntan a que a refinaría nesta última fase pode ou debe producir a maiores e-combustíbeis (Chan et al., 2019, FuelsEurope, 2018). Esta sería outra alternativa. Neste traballo non se propón porque requeriría a tecnoloxía DAC, que está excluída da senda LED, ou utilizar CO₂ procedente de fontes bioxénicas, o cal habería que capturalo con tecnoloxías CCU con elevado CAPEX.

⁵⁸ Unha serie de tecnoloxías diferentes a LHT permitirían procesar biomasa para obter biocombustíbeis. Non obstante, dende o punto de vista técnico, LHT semella se-la mellor (Gollakota, Kishore e Gu, 2018).

escala piloto en laboratorio e a escala industrial piloto (Gollakota, Kishore, & Gu, 2018).

Simultaneamente a esta transición, ocorrería unha forte redución na produción material anual entre 2020 e 2050 (ver gráfica 8) coherente coa senda LED que se toma como referencia para a formulación da estratexia galega para as IIEs. Esta redución sería de 88,9% para os produtos petrolíferos e de 88,3% para o total da produción na refinería.

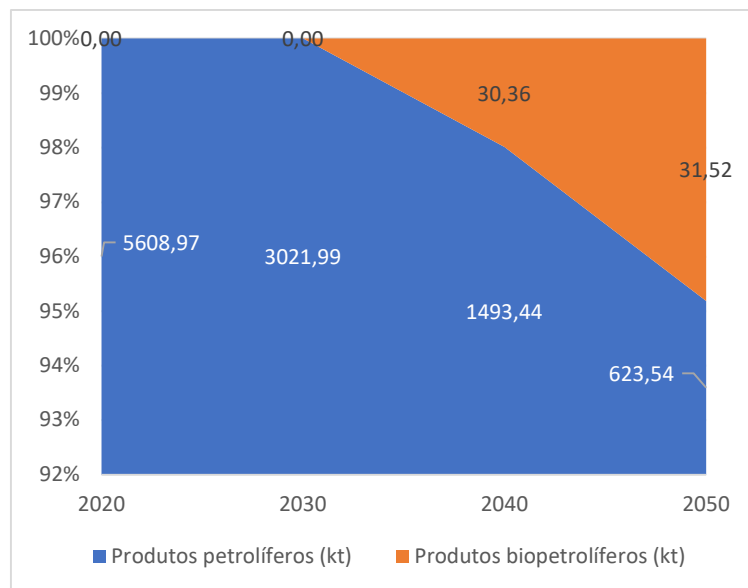


Gráfico 8: Producción material proxectada para a industria de refinación de petróleo en Galicia por tipo de material, 2020-2050 (kt). Elaboración propia a partir de datos de Grubler et al., Low Energy Demand (LED) Database.

Outro dos piares para a consecución de obxectivos de redución de emisións na industria de refino de petróleo coherentes con 1,5 °C é a transición enerxética da produción neste sector económico. Esta transición enerxética consistiría en melloras na eficiencia enerxética e en cambios no subministro enerxético. As emisións de CO₂ anuais poderían diminuír un 25% para 2050 mediante estas dúas estratexias sen implementar melloras de medio e elevado CAPEX, as cales deixan de ser necesarias para cumprir coa senda de mitigación dado o escenario de

redución da produción material proposto⁵⁹. Entre as accións de eficiencia enerxética encóntranse: melloras incrementais coma novos intercambiadores de calor, novos motores ou melloras nos catalizadores. Entre as medidas de transición cara un subministro enerxético baixo en carbono considérase principalmente a electrificación de procesos; outras inclúen a redución da electricidade xerada en réxime de coxeración ou a mellor recuperación de hidróxeno e GLP do gas de refinería (Belghazi et al., 2018).

Os requerimentos materiais desta industria consistirían na biomasa utilizada como materia prima para a produción de biopetróleo. Entre as fontes de biomasa adecuadas para este proceso están: residuos forestais, cultivos enerxéticos, plantas acuáticas, cultivos agrícolas e os seus residuos (incluíndo os animais) (Gollakota et al., 2018). Os requerimentos enerxéticos consistirían a nivel cualitativo na substitución de parte dos combustíbeis fósiles por electricidade. A nivel cuantitativo, sen embargo, estes requerimentos semellan non existir para esta industria pois a caída da produción é moi elevada, co cal a caída da demanda enerxética espérase que tamén o sexa; non obstante, cabe ter en conta que a incorporación de LHT terá un consumo enerxético, o cal debe ser neutro en emisións. En calquera caso, non existen datos de consumo enerxético neste complexo industrial, polo que non se pode realizar unha cuantificación. A nivel tecnolóxico, esforzos en I+D serán necesarias para desenvolver as medidas propostas, especialmente para HTL, que se atopa actualmente en fase transitoria entre a escala piloto en laboratorio e a escala industrial piloto (TRL catro) (Gollakota et al., 2018). O TRL das medidas de transición enerxética está entre 4 e 9 (Belghazi et al., 2018).

7.3.3. Gases industriais

A industria de fabricación de gases industriais en Galicia conta cun só complexo industrial: Air Liquide Ibérica de Gases (en adiante Air Liquide),

⁵⁹ Adicionais reducións na intensidade carbónica desta industria poderían chegar ata o 50% con medidas de eficiencia enerxética de medio e alto CAPEX e ata o 70% aplicando CCU. Entre as primeiras están: cambios na configuración da planta e incrementos na recuperación de calor de baixa entalpía para a xeración eléctrica ou a exportación a zonas urbanas adxacentes.

pertencente á empresa Air Liquide Ibérica de Gases S.L.U. (Rexistro PRTR-España, 2020a; Rexistro PRTR-España, n.d.b).

Estrutura produtiva e emisións

Air Liquide adícase á produción de hidróxeno, vapor e anhídrido carbónico (CO₂) a partir de nafta, gas natural e GLP. Estas materias primas son subministradas pola refinaría de Repsol Coruña⁶⁰. Conta con dúas plantas: unha para a produción de hidróxeno (mediante reformado) e vapor e outra para a produción de CO₂; con capacidades de produción de 31.115 Nm³/h de hidróxeno e 120 t/día de CO₂ puro de calidade alimentaria⁶¹. A materia prima na planta de CO₂ é a corrente de CO₂ bruto procedente da outra planta (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2010).

Air Liquide xerou 192,40 ktCO₂eq, o 100% delas foron CO₂. As emisións GEI situáronse entre 190,00 e 197,00 ktCO₂eq/ano entre 2015 e 2019, sendo o 100% delas CO₂; o mínimo sucedeu en 2019.

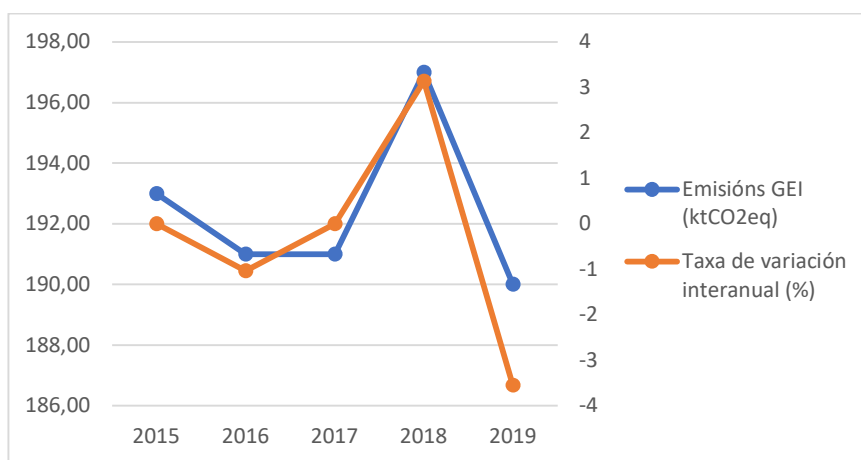


Gráfico 9: Emisións GEI en Air Liquide, 2015-2019.

As emisións á atmosfera (sen especificar gas) no complexo orixínanse en tres focos debido á: xeración de vapor a través da combustión de gas natural ou gas de cola⁶² nun forno reformador para a produción de hidróxeno (foco 1), xeración de

⁶⁰ GLP unicamente se emprega cando se xera un excedente deste produto en Repsol Coruña.

⁶¹ Enténdese que o CO₂ que produce Air Liquide ten fins alimentarios. O silencio do complexo industrial ante a enquisa e a entrevista individualizadas impediu corroborar este dato.

⁶² Este gas prodúcese na propia instalación a partir das materias primas: nafta, GLP e gas natural.

vapor nunha caldeira a gas natural para a produción e purificación de CO₂ (foco 2) e á descarga de gases a través de venteos que van parar á antorcha de Repsol Coruña (foco 3). O complexo industrial conta cos seguintes sistemas de tratamento e xestión de emisións a atmosfera: condución dos venteos do segundo foco ao fachón de Repsol Coruña (e sempre que resulta posible envíanse tamén o resto de venteos e vaporizados dos depósitos), recuperación e valorización do CO₂ procedente da unidade de produción de hidróxeno, conexión de todo o sistema ao dispositivo de emerxencia de descarga a fachón e minimización das emisións fuxitivas debidas a fugas (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2010; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2014a).

Estratexia de descarbonización

Antes de proceder a formula-la estratexia de descarbonización para esta industria cabe ter en conta que o CO₂ producido podería ser emitido; o seu uso é alimentario. Dado que non existen datos destas emisións no Inventario Nacional (MITERD, 2020b), exclúese este factor a efectos da formulación da estratexia de descarbonización e asúmese que en principio se pode seguir utilizando por non obstaculiza-la descarbonización do conxunto da economía.

A estratexia de descarbonización de Air Liquide céntrase sobre os dous focos de emisións por xeración de vapor. En relación ás emisións por venteos carécese de información suficiente para coñece-lo modo en que se producen; poderían ser emisións de proceso, polo que non se pode asegurar que coa mitigación das emisións de combustión se acade unha descarbonización absoluta desta industria.

As emisións procedentes dos focos de xeración de vapor (de auga) pódense descarbonizar ao 100% mediante a electrificación deste proceso. Ademais de mitiga-las emisións asociadas, esta AD ten a vantaxe de contribuír a flexibiliza-la demanda de enerxía eléctrica en períodos de baixa xeración debido á intermitencia das fontes de enerxía renovabeis, podendo beneficiarse ademais de períodos de baixos prezos da enerxía eléctrica (Bazzanella & Ausfelder, 2017, pp. 36-38).

Alternativamente, a produción de hidróxeno (en adiante H₂) podería descarbonizarse por completo mediante un proceso de pirólise a alta temperatura

que transformaría metano ou outros hidrocarburos menos pesados⁶³ en hidróxeno gas e carbón en estado sólido utilizando enteiramente electricidade como fonte de enerxía (Bazzanella & Ausfelder, 2017, p. 53). Este proceso non xera CO₂, polo que non permitiría producir CO₂ no complexo industrial a partir dos hidrocarburos utilizados como materia prima. Por este motivo, a AD proposta para Air Liquide é unicamente a electrificación da xeración de vapor.

En canto ás perspectivas de evolución da produción de H₂ e CO₂ a longo prazo, dado o feito de que Air Liquide está preparado para producir a partir de diferentes hidrocarburos, incluíndo produtos petrolíferos e gas natural, non necesariamente se verá dramaticamente afectada pola forte diminución da produción de produtos petrolíferos considerada como parte do escenario enerxético que subxace trala senda de descarbonización para as IIEs galegas. Air Liquide pode seguir producindo H₂ e CO₂ a partir de gas natural e incluso gases equivalentes, coma biogás. O coeficiente de transición material é de 0,68 debido a un multiplicador de desmaterialización de 0,68.

Os requerimentos enerxéticos da transformación produtiva proposta para Air Liquide consisten no aumento da demanda de enerxía eléctrica; os materiais, no aumento da demanda de gas natural e/ou gases equivalentes coma biogás⁶⁴. Esta demanda aumentaríase a medida que a produción de nafta en Repsol Coruña diminúise. En canto aos requerimentos tecnolóxicos, estes son reducidos, pois a electrificación da xeración de vapor ten un TRL de 7 (Bazzanella & Ausfelder, 2017, p. 36).

⁶³ A planta de Air Liquide está preparada para utilizar gas natural como materia prima. Este gas contén metano como principal compoñente.

⁶⁴ O e-gas non se propón porque é un gas que se produce pola unión de H₂ e CO e, por tanto, non ten sentido converter H₂ en e-gas para novamente obter H₂.

7.3.4. Outros produtos básicos de química orgánica.

FABRICACIÓN DE BIOETANOL

A industria de fabricación de bioetanol en Galicia conta cun só complexo industrial: Bioetanol Galicia, pertencente á empresa Bioetanol Galicia S.A. (Rexistro PRTR-España, 2020a).

Estrutura produtiva e emisións

Bioetanol Galicia produce bioetanol a partir de cereais (trigo, maíz, cebada e outros) e alcol vínico. Como produtos secundarios se teñen: solubeis de gran seco destinado, po de gran de cereal e electricidade. O proceso produtivo consiste na transformación do amidón dos grans de cereal en azucres simples, mediante un proceso de sacarificación e fermentación simultánea e posterior destilación. A fábrica conta ademais cunha unidade de destilación e rectificación de alcol vínico e cunha unidade de coxeración formada por unha turbina de gas. O combustíbel principal usado na fábrica é gas natural; adicionalmente utilízase gasóleo para carretillas elevadoras e palas (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2012).

A produción de bioetanol é en si mesma unha alternativa de descarbonización para a industria química, xa que este material serve de insumo libre de carbono fósil para a fabricación de bioetileno; ademais, é un biocombustíbel idóneo para descarboniza-lo sector transporte (Bazzanella & Ausfelder, 2017: 87). Non obstante, a súa fabricación certamente produce emisións; no caso galego concretamente a causa da combustión de gas natural en xeración de vapor e en caldeiras para a planta de coxeración e o proceso de secado. As emisións GEI deste complexo entre 2015 e 2019 foron 142,40 ktCO₂eq/ano; o 100% delas, CO₂.

Entre 2015 e 2019 houbo un lixeiro aumento nas emisións, como se pode apreciar na gráfica 10. Sería conveniente unha análise da intensidade carbónica

Por outro lado, convén salienta-la posibilidade de produci-lo bioetanol a partir de biomasa non alimentaria. Como materias primas alternativas ao cereal están: as macroalgas mariñas (Peteiro, García, & Prado, 2016), os residuos forestais (Vega, 2011) ou agrícolas (Díaz, 2011), ou a biomasa lignocelulósica⁶⁷ (por exemplo, madeira) (Bazzanella & Ausfelder, 2017: 88). Isto non afectaría ao carácter neutro en emisións da fabricación de bioetanol, mais si a cuestións relacionadas cos prezos e dispoñibilidade da materia prima, e coa eficiencia enerxética e material do proceso (Bazzanella & Ausfelder, 2017: 87-90). Estas materias primas poderíanse considerar entón como requerimentos enerxéticos, xunto cos cereais utilizados actualmente.

A utilización de hidróxeno ou biogás en substitución de gas natural pódese implementar coas tecnoloxías dispoñibéis sen cambios nos equipos de combustión; a electrificación de vapor todavía non: ten un TRL de 7 (Bazzanella & Ausfelder, 2017, pp. 36-38).

FABRICACIÓN DE BIODIÉSEL: MASOL IBERIA BIOFUEL

A industria de fabricación de biodiésel en Galicia consta dun só complexo industrial: Masol Iberia Biofuel, pertencente á empresa do mesmo nome (Bureau van Dijk, 2014; Rexistro PRTR-España, 2020a).

Estrutura produtiva e emisións

A actividade principal de Masol Iberia Biofuel (en adiante, Masol Iberia) é a produción e almacenamento de biodiésel, glicerina, ácidos graxos e gomas a partir de aceites vexetais de soia, palma e/ou colza. Ten unha capacidade produtiva de 300.000, 33.000, 16.000 e 7.500 toneladas/ano, respectivamente (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2015).

O proceso produtivo consta de dúas fases: refinación e transesterificación. A fase de refinación permite elimina-las impurezas contidas nos aceites e obter aceite con características adecuadas para a produción de biodiésel. O consumo anual de

⁶⁷ A biomasa lignocelulósica é a parte da biomasa a base de cultivos enerxéticos lignocelulósicos forestais e herbáceos que se pode empregar como combustíbel.

aceite é 306.000 t. A principal fonte de enerxía é a electricidade, tamén se utiliza gas natural para a xeración de vapor (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2015; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020d).

As emisións deste complexo industrial entre 2017 e 2019⁶⁸ foron 12,4 ktCO₂eq/ano, sendo o 100% delas CO₂ en procesos de combustión de gas natural. Houbo un serio aumento nestes tres anos: as emisións multiplicáronse por 1,8 en dous anos. Non existen datos de produción material nin consumo enerxético neste complexo que permitan analizar a que se puido deber este aumento.

Estratexia de descarbonización

A descarbonización de Masol Iberia pasa pola electrificación dos procesos de xeración de vapor, AD que permitiría mitiga-lo 100% de emisións do complexo (Bazzanella & Ausfelder, 2017, pp. 36-38). A produción material espérase que aumente significativamente; concretamente, a taxa de variación asumida no escenario que subxace trala estratexia é do 317,16%⁶⁹. Os requerimentos enerxéticos desta industria serían, por tanto, moi superiores aos actuais e 100% electricidade. As necesidades de I+D para implementa-la AD indicada son baixas: pártese dun TRL de sete.

A maiores do indicado, sería conveniente considera-la posibilidade de incorporar materias primas alternativas ao proceso produtivo; concretamente aceite reciclado, graxa animal e aceites producidos en proximidade. Por un lado, esta sería unha maneira de diminuí-la intensidade enerxética e carbónica das emisións indirectas xeradas en actividades da cadea de valor situadas cara atrás debido á redución dos kilómetros recorridos pola materia prima. Por outro, sería unha forma de valorizar recursos (aceite reciclado e graxa animal) que poderían ser considerados como residuos; recursos que, non obstante, posúen un importante contido enerxético (0,9000 e 0,9190 toneladas equivalentes de petróleo, respectivamente (INEGA, 2020, p. 39)).

⁶⁸ Non hai datos para 2015 e 2016 no Rexistro PRTR relativos a este complexo.

⁶⁹ Tal e como se explicou na subsección 6.2.3, esta taxa de variación tómase da variación da demanda mundial de enerxía líquida secundaria da biomasa da senda LED, ao non haber datos específicos para o biodiésel.

7.3.5. Colas

En Galicia existe un único complexo industrial na rama 20.52: Fabricación de colas. Este complexo é Forestal del Atlántico, pertencente á Forestal del Atlántico, S.A. (Rexistro PRTR-España, 2020a).

Estrutura produtiva e emisións

Forestal del Atlántico produce formol, colas, resinas e residuo hidrocarburado procesado como actividade principal e xestiona residuos perigosos como actividade secundaria. As materias primas utilizadas na fábrica son: alcohois, catalizadores, corrosivos, materias primas sólidas non perigosas e hidrocarburos (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2017; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2019c). Entre 2015 e 2018 a produción desta industria incrementou un 38,6% e o valor promedio foi 45.298 t/ano (IGE, 2020a).

As emisións deste complexo industrial entre 2015 e 2019 foron 134,4 ktCO₂eq/ano e o 100% delas, CO₂. As emisións de combustión producíronse en dúas caldeiras de xeración de vapor e en catro unidades de coxeración debido á combustión de fuelóleo, gasóleo clase B e residuo de hidrocarburo procesado. A maiores, existen outros focos de emisións á atmosfera (non se especifica que gases); entre eles están “Chemineas venteos seguridade” no proceso de recollida de gases da planta de formaldehído, “Doble scrubber” no proceso de lavado húmido de gases e condensados do proceso de fabricación de colas e “Venteo bomba baleiro” no tratamento de residuos Marpol e na destilación flash (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2017). O responsábel de medio ambiente de Forestal del Atlántico indica que as emisións GEI unicamente se producen en procesos de combustión.

Entre 2015 e 2019 as emisións deste complexo mantivéronse a niveis similares (ver gráfico 11). A intensidade carbónica sufriu unha lixeira caída entre 2015 e 2018. Unha hipótese que o podería explicar é o notábel aumento da produción nese período. O promedio da intensidade carbónica entre 2015 e 2018 foi 3,03 tCO₂/t/ano.

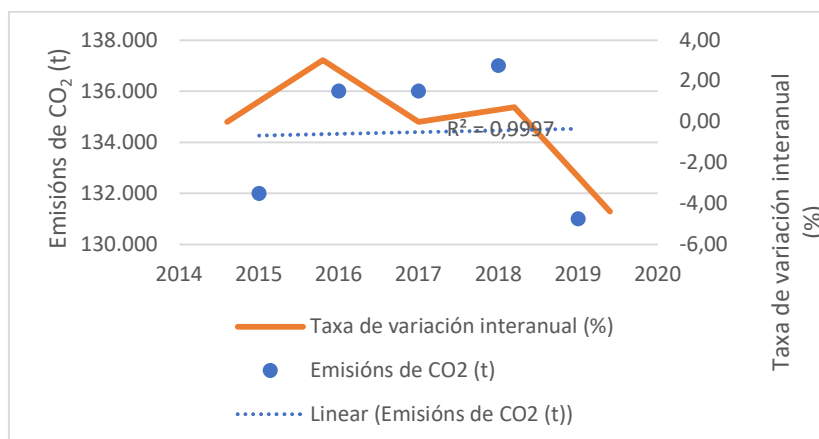


Gráfico 11: Emisións de CO₂. Forestal del Atlántico, 2015-2019

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización da industria de fabricación de colas en Galicia é do 100%. Isto lograríase mediante a electrificación da xeración de vapor (Bazzanella & Ausfelder, 2017, pp. 36-38) e a substitución de combustibles na central de coxeración, a cal deixaría de utilizar fuelóleo, gasóleo e/ou residuo de hidrocarburo procesado e utilizaría biomasa. A electrificación da xeración de vapor nas caldeiras xeraría un incremento na demanda eléctrica por unidade de produto. A demanda enerxética non se pode estimar por non contar con suficientes datos relativos aos consumos enerxéticos neste complexo.

Non existen requerimentos materiais. Os requerimentos enerxéticos en termos cualitativos consisten na demanda de enerxía eléctrica. Os requerimentos tecnolóxicos son baixos e consisten no desenvolvemento da AD “Electrificación da xeración de vapor”: actualmente presenta un TRL igual a sete (Bazzanella & Ausfelder, 2017, pp. 36-38).

7.3.6. Outros produtos químicos non clasificados noutra parte.

A rama de actividade CNAE 20.59: “Fabricación doutros produtos químicos non clasificados noutra parte” conta con tres complexos industriais en Galicia: Arteixo Química S.L., Specialty Marine Products and Ventures S.L. e Compañía

Española de Industrias Electroquímicas, S.A., pertencentes a empresas co mesmo nome (Rexistro PRTR-España, 2020a; Rexistro PRTR-España, n.d.b). Este último non rexistra emisións no Rexistro PRTR entre 2015 e 2019 e o segundo deles rechazou a participación na investigación por falta de tempo no seu persoal.

SPECIALTY MARINE PRODUCTS AND VENTURES S.L.

Estrutura produtiva e emisións

Specialty Marine Products and Ventures S.L. (en adiante, SMPV) dedícase á fabricación, elaboración, aproveitamento e comercio ao por maior de aceites e graxas industriais (concretamente escualano) para as industrias cosmética e farmacéutica, así coma á prestación de servizos técnicos e de apoio a outras empresas do sector. A fábrica ten unha capacidade produtiva aproximada de escualano de 384 t/ano. A materia prima utilizada é escualeno animal e vexetal (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2011; Specialty Marine Products and Ventures, S. L., n.d.).

As emisións deste complexo foron 3,03 ktCO₂eq/ano entre 2017 e 2019 e o 100% delas, CO₂. Existen 14 focos de emisións á atmosfera na planta; deles polo menos tres emiten CO₂, concretamente debido á combustión de gasóleo C en procesos de hidroxenación e saponificación (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2011). En canto ás emisions de proceso, dado que se emprega como materia prima escualeno animal e vexetal, enténdese que, de existiren, serían de orixe bioxénico. Baixo esta hipótese, o 100% das emisións de CO₂ do complexo serían de combustión.

Non é posíbel calcula-las intensidades carbónica e enerxética ao non dispór de datos sobre os fluxos de enerxía e materiais na fábrica.

Estratexia de descarbonización.

O potencial de descarbonización desta industria é do 100% asumindo que non hai emisións de proceso ou que estas son bioxénicas. Isto lograríase mediante a substitución de combustíbeis; concretamente, propónse a substitución do gasóleo das caldeiras por biomasa. Isto xeraría demanda de biomasa (requerimentos

enerxéticos). Non se identifican requerimentos materiais nin tecnolóxicos para esta industria.

ARTEIXO QUÍMICA S.L.

Estrutura produtiva e emisións.

Arteixo Química S.L. fabrica un amplo abanico de produtos, segundo demanda dos clientes mediante procesos moi diferentes e, en ocasións, reaccións moi complexas. Entre eles se inclúen: desinfectantes de piscinas, produtos de tratamento de depuradoras, intermedios de reacción, policarbonatos, tensioactivos... O propio complexo establece a seguinte clasificación entre eles en catro grupos de materiais: policarbonatos, produtos para tratamento de augas, desinfectantes, e intermedios de reacción e outros. Non se utiliza CO₂ como insumo material en ningún dos procesos. Como fontes de enerxía utilízase electricidade e gas natural, este último para quentamento de aceite térmico en caldeiras (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020f, p. 10).

A evolución dos niveis de produción é distinta para cada un deles no período de estudo. Por outro lado, cabe destacar que este complexo solicitou en 2016 a realización dunha serie de modificacións na súa estrutura produtiva, concretamente: fabricación de cloruro de dialildimetilamonio, instalación dun depósito de 25 m³ de almacenamento de epiclorhidrina e fabricación de policarbonatos a escala industrial (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020f, p. 6).

Arteixo Química emitiu entre 2015 e 2019 6,00 ktCO₂/ano, sendo o 100% emisións de CO₂. Ao analiza-las emisións por categoría descúbrese unha incoherencia: as súas emisións serían maioritariamente de proceso (o 96,3%), sen embargo a técnico responsábel de medio ambiente de Arteixo Química indica como resposta ao cuestionario que non existen emisións de proceso na súa fábrica e que o 100% das emisións se producen na combustión de gas natural (o único combustíbel utilizado). Esta incoherencia fai necesaria unha análise das emisións en orixe con medios técnicos e de xeito exhaustivo, non abordada neste traballo por motivos evidentes. A efectos de formulación da estratexia asúmese a que non hai

emisións de proceso, tal e como indica a técnico de medio ambiente. Non se expoñen, por tanto, os datos de consumo enerxético nin de intensidade enerxética.

En canto á evolución das emisións de CO₂ entre 2015 e 2019, cabe destacar que os datos subministrados polo complexo non proceden de cálculos anuais, senón trianuais. As medicións realizáronse en 2013, 2016 e 2019. Os valores dos anos restantes asúmense constantes por parte do complexo. Na gráfica 12 pódese apreciar tanto a incoherencia detectada (na área en branco) coma as cuestións metodolóxicas referidas. En 2019 prodúcese o mínimo de emisións de CO₂ (1,7 kt). A intensidade carbónica situouse entre 0,3 e 2,0 tCO₂/t con notabeis variacións, que poden deberse á diversidade de materiais fabricados, con unha tendencia decrecente dende 2017.

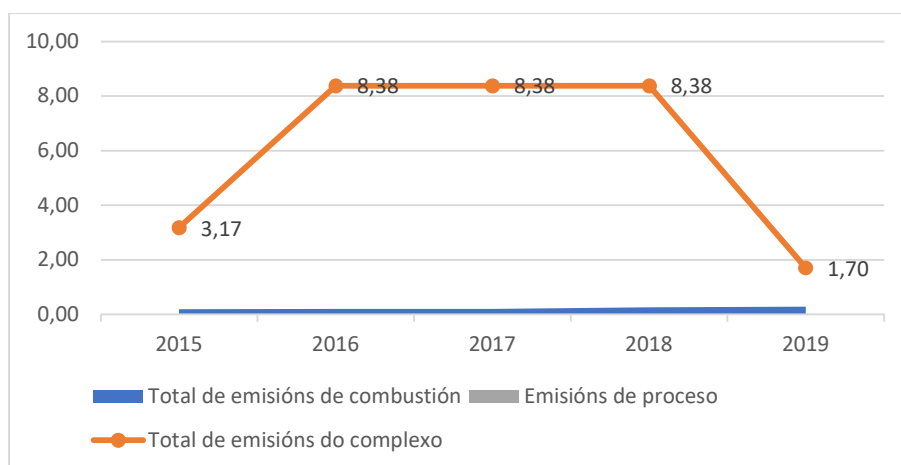


Gráfico 12 Emisións totais e por categoría. Arteixo Química SL, 2015-2019 (ktCO₂)

Estratexia de descarbonización

Asumindo que as emisións do complexo son enteiramente da combustión de gas natural e que non existen emisións de proceso (tal e como indica a técnico de medio ambiente), o potencial de descarbonización desta industria é do 100% mediante substitución de gas natural por hidróxeno ou biogás.

Non se realiza cuantificación dos requerimentos enerxéticos pola incoherencia detectada nos consumos enerxéticos ou nas emisións. A nivel cualitativo, produciríase un aumento na demanda de hidróxeno ou biogás. Non se identifican requerimentos materiais nin tecnolóxicos.

7.3.7. Sector cerámico: azulexos, baldosas, ladrillos, tellas e produtos de terras cocidas para a construción

Neste estudo sectorial agrúpanse dúas clases CNAE09: 23.31: “Fabricación de azulexos e baldosas de cerámica” e 23.32: “Fabricación de ladrillos, tellas e produtos de terras cocidas para a construción” por ter procesos produtivos moi semellantes (como se detalla a continuación). Esta industria (en adiante, industria cerámica ou sector cerámico) conta con doce complexos industriais en Galicia, sete dos cales pertencen ao obxecto de estudo. Son os seguintes: Cerámica da Moura, Tellas Vereas, Cerámica la Manchica, Campo Brick, Cerámicas del Miño, Refractarios Campo e Epifanio Campo. Pertencen a empresas co mesmo nome (Rexistro PRTR-España, 2020a; Rexistro PRTR-España, n.d.b).

Estrutura produtiva e emisións

Aínda que os materiais producidos na industria cerámica en Galicia non son exactamente os mesmos dun complexo a outro, a estrutura produtiva dos complexos industriais obxecto de estudo pertencentes ao sector cerámico no que respecta aos procesos produtivos é moi semellante. A IIE cerámica en Galicia produce os seguintes materiais: tellas, ladrillos, gres e outros produtos cerámicos. O proceso produtivo consta de catro etapas: (1) preparación de materias primas, (2) moldeo, (3) secado e tratamento, (4) cocción e (5) finalización. Adicionalmente, nalgúns casos se dispón dun preforno (onde se realiza o prequentamento da materia prima previamente á súa cocción) e unha central de coxeración (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2008a; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2008b; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2008c; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2009). As dúas etapas máis intensivas enerxeticamente son a cocción, que consume arredor do 57% da enerxía de todo o proceso, e secado, que consume arredor do 26% (Chan, Y. et al., 2019, pp. 57, 59).

Os fluxos de enerxía e materiais e as intensidades enerxética e carbónica nesta industria puideron ser calculados para catro dos sete complexos industriais; nos tres restantes, non se conta coas respostas aos cuestionarios nin existen datos

públicos para eles. Os combustíbeis empregados nesta industria foron: gas natural, fuelóleo, coque e gasóleo B (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2008a; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2008b; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2008c; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2009).

As emisións GEI (todas elas de CO₂) no sector cerámico en Galicia entre 2015 e 2019⁷⁰ foron 6,28 ktCO₂eq/ano. Non houbo emisións de proceso (polo menos nos complexos que responderon á enquisa e máis en Nueva Cerámica Campo) porque as arcillas utilizadas non tiñan carbonatos, logo o 100% delas foron de combustión e producíronse na queima dos combustíbeis mencionados anteriormente para subministrar enerxía térmica e eléctrica ao proceso produtivo.

A variación das emisións de CO₂ neste sector entre 2017 e 2019 foi do -19,30%⁷¹. A intensidade enerxética dos mesmos entre 2015 e 2019 estivo entre 0,52 e 3,55 GJ/t, o valor promedio foi 1,93 GJ/t e a variación entre 2015 e 2019 foi do 3,8%. A intensidade carbónica estivo entre 0,09 e 0,22 tCO₂/t, tivo un valor promedio igual a 0,14 tCO₂/t e a variación entre 2015 e 2019 foi do -2,4%. Non se aprecia unha tendencia cara a descarbonización nesta industria no período 2015-2019.

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización da industria cerámica en Galicia é do 100% e a intensidade enerxética reduciríase nun 55%. A estratexia de descarbonización proposta consiste na transformación do actual sistema produtivo nun sistema de quecemento combinado a base de gas de combustión de forno túnel de anel híbrido

⁷⁰ Para os complexos que subministraron datos, utilízanse estes datos no cálculo; para os complexos Cerámica da Moura, Cerámicas del Miño e Nueva Cerámica Campo utilízanse datos do Rexistro PRTR e relativos aos anos: 2017 e 2019, para o primeiro; 2017, 2018 e 2019, para o segundo, e 2017 e 2018 para o terceiro; porque é a información dispoñíbel no Rexistro PRTR e porque os complexos non subministraron datos. Asíumese que os anos que figuran con emisións cero si houbo emisións pero non se rexistran por non chegar ao umbral correspondente, polo que estes anos exclúense do promedio calculado.

⁷¹ Emprégase esta serie temporal para a análise da evolución das emisións porque para tres complexos non se teñen datos entre 2015 e 2016.

(Schäffer, 2017) que funcionaría con biogás. A enerxía eléctrica consumida xeraría-se na propia planta.

A aplicación do sistema consistiría nunha reestruturación do forno para a disolución do enlace térmico entre o subsistema de enfriamento e o de secado. No seu lugar, utilizaríanse gases de escape desulfurados do forno e do secador complementados cunha bomba de calor a gas para maximiza-la cantidade de enerxía térmica de alta calidade. O combustíbel utilizado no sistema sería hidróxeno ou biogás para conseguí-la plena descarbonización. A transformación do actual sistema produtivo cara este é implementábel a curto prazo con gastos en desenvolvemento razoables e poderíanse desenvolver de forma progresiva realizando cambios graduais, nun proceso que constaría de seis fases e duraría entre seis e oito anos. O baixo TRL desta tecnoloxía (inferior a cinco) requiriría a substitución de gas natural por biogás a curto prazo no caso para acadar as reducións de CO₂ correspondentes. Os custos de operación relacionados coa enerxía espérase que diminúan nun 65%, trasladándose a unha redución dos custos de fabricación en ata o 30% (Schäffer, 2017).

Non existen requirimentos materiais para esta industria, si enerxéticos, os cales consisten na demanda de biogás. Dende o punto de vista da I+D, o sistema proposto para transforma-la estrutura produtiva das industrias deste sector ten un TRL inferior a cinco, polo que grandes esforzos en I+D son necesarios para lograr unha implementación o suficientemente rápida como para que permita cumprir coa senda de redución de emisións formulada.

7.3.8. Cemento

A industria de fabricación de cemento en Galicia está formada por dous complexos industriais: “Sociedade Anónima Tudela Veguín - Planta De Narón” e “Cementos Cosmos Oural”; pertencentes ás empresas Tudela Veguín S.A., Gallega de Molienda de Clinker S.L.U. e Cementos Cosmos S.A. (Rexistro PRTR-España, 2020a; Rexistro PRTR-España, n.d.b). Cementos Cosmos Oural é o único complexo industrial que produce clínker en Galicia (Cementos Tudela Veguín, n.d.).

Estructura productiva e emisións

O complexo Cementos Cosmos (Oural) produce cemento, concretamente: cemento Portland con baixo contido en álcalis, cemento Portland composto e cemento puzolánico resistente aos sulfatos⁷². O proceso produtivo consta de tres etapas: (1) preparación de materias primas [(a) caliza, (b) marga ou pizarras e (c) correctores férricos e/ou silíceos)], (2) cocción do crudo (masa formada polas materias primas preparadas e moídas) nun forno rotatorio e obtención de clínker e (3) molienda conxunta do clínker con outros compoñentes para obter cemento. Non se realiza fraguado do cemento en Cementos Cosmos Oural. O clínker é o compoñente esencial dos tres tipos de cementos fabricados na planta de Oural e o seu proceso de fabricación concentra o 100% das emisións do complexo; por conseguinte, o diagnóstico realízase en relación a este material.

Os fluxos de enerxía, materiais e emisións de CO₂ en Cementos Cosmos Oural entre 2015 e 2019 foron moi variabeis (ver gráfico 13). En 2016 alcanzouse un mínimo de produción, en 2017 os niveis de produción material multiplicáronse por 158 con respecto ao ano anterior e entre 2017 e 2019 mantivéronse a niveis similares. 2017 foi un punto de inflexión no complexo industrial: a empresa iniciou un novo proxecto cun investimento de tres millóns de euros (Penoucos, 2017) e unha transición enerxética parcial (substituíndo parte dos combustíbeis fósiles por residuos e biomasa)⁷³. En coherencia con isto, o cálculo dos valores promedios de produción material, consumo enerxético e emisións de CO₂ na factoría realízase para o ano promedio entre 2017 e 2019.

⁷² Na fábrica de Oural de Cementos Cosmos o cemento Portland con baixo contido en álcalis contén entre 95 e 100% de clínker, entre 0 e 5% de cenizas e caliza, e xeso como regulador de fraguado; o cemento Portland composto contén entre 65 e 79% de clínker, 21 e 35% de cenizas e un pequeno porcentaxe de caliza, e o cemento puzolánico contén entre 65 e 79% de clínker, 21 e 35% de cenizas e caliza, e xeso como regulador de fraguado (Votorantim Cimentos, 2020a, Votorantim Cimentos, 2020b, Votorantim Cimentos, 2020c). Os porcentaxes están dados en masa, segundo o técnico de medio ambiente entrevistado.

⁷³ No proceso de modernización non se substituíu nin o forno de calcinación nin o intercambiador de calor.

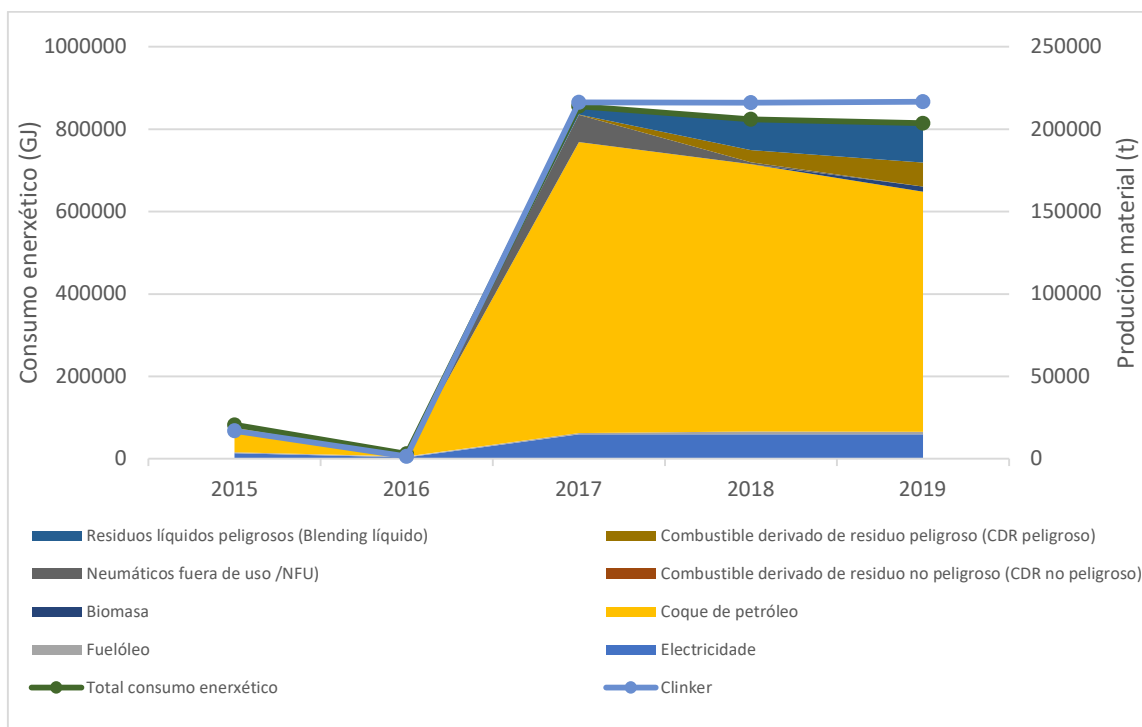


Gráfico 13: Producción material e consumo enerxético en Cementos Cosmos Oural, 2015-2019. Elaboración propia a partir de datos suministrados polo complexo industrial.

As emisións en Cementos Cosmos Oural foron 184,25 ktCO₂ entre 2017 e 2019. O 62,7% delas foron de proceso no forno de calcinación; o 37,3% restante, de combustión, maiormente de coque de petróleo. As fontes das emisións de combustión ilustranse na gráfica 14. Exclúense as emisións derivadas da combustión de biomasa. A intensidade carbónica, a intensidade enerxética e as emisións de CO₂ entre 2017 e 2019 sufriron un lixeiro descenso (arredor do 5%).

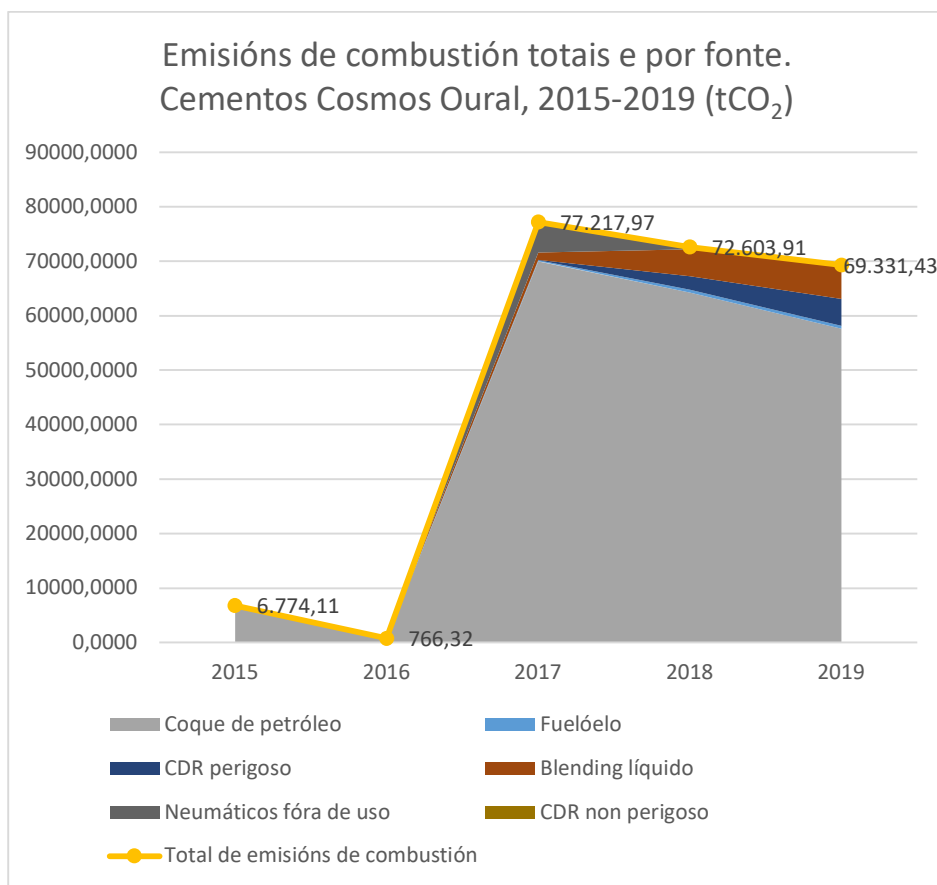


Gráfico 14: Emisións de combustión non bioxénicas totais e por fonte. Cementos Cosmos Oural, 2015-2019 (tCO₂)

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización de Cementos Cosmos Oural é elevado, a intensidade enerxética diminuiría, aínda que de forma modesta⁷⁴ (máis ambiciosa se se considera como eficiencia enerxética a redución do factor de clínker), e a produción material de cemento sería en 2050 un 11,22% inferior á actual (Axencia Internacional da Enerxía, 2020a). A empresa descoñece en que medida lles pode afectar estruturalmente a crise económica da COVID-19.

⁷⁴ A medida exacta dependería do grao de implementación de cada AD. A maiores, hai potencial de mellora, tanto mediante a substitución do intercambiador de calor por outro con un ciclón máis, coma mediante a aplicación de “plant-specific measures” (medidas específicas para cada planta). A primeira vía estímase moi custosa en relación ao pequeno aforro enerxético logrado. Por outro lado, a intensidade enerxética no complexo tamén pode aumentar a medida que se aumenta o peso relativo dos residuos no mix enerxético (Chan et al., 2019, p. 48; Chan et al., 2015, p. 71).

Non se pode dar un valor preciso do potencial de descarbonización esperábel mediante a aplicación das ADs propostas porque o grao de implementación de cada AD relativas ás emisións de proceso é dificilmente predecíbel, pois depende da demanda que poida haber dos distintos cementos producidos como resultado de cada AD e da dispoñibilidade das materias primas que posibilitan a aplicación das distintas ADs. Non obstante, en calquera caso espérase que os valores se acheguen moito ao 100%. Isto pode afirmarse en base ás proxeccións de produción material (forte caída), á redución do factor de clínker (AD de substitución de insumos materiais mediante arcilla calcinada e pedra caliza moída) e ao resto de ADs de substitución de materias primas. O 100% non se considera posíbel sen a AD MOMS polas limitacións de captura de CO₂ con CCU (moi difíciles e custosos por enriba do 90%).

A descarbonización indicada pode lograrse mediante as seguintes ADs: substitución de combustíbeis, redución do factor de clínker, clínkers belíticos que conteñen yelimita, clínkers de silicato de calcio e clínkers de óxido magnésico derivado de silicato magnésico.

Dadas as características específicas do proceso de produción de clínker, a combustión de residuos nesta industria é unha opción particularmente eficiente e beneficiosa dende o punto de vista enerxético e ambiental (Oerter, 2017). Esta alternativa sería tamén compatíbel coa senda de redución de emisións proposta sempre que os residuos utilizados, teñan un elevado contido en carbón bioxénico. Entre estos están: lodos de depuradora, graxa animal, fariña de osos e carne, serraduras e madeira. Outros residuos (sólidos urbanos, perigosos, blending líquido, neumáticos fóra de uso, aceite reciclado...) poderían ser tamén utilizados con reducións nas emisións e aforros enerxéticos: recuperaríanse residuos evitando así o uso de recursos fósiles e as emisións directas de CO₂ reduciríanse tamén en comparación co coque de petróleo⁷⁵, segundo datos dos respectivos factores de emisión da Guía IPCC (Gómez & Watterson, 2006, pp. 16-17) e Cementos Cosmos. Actualmente, Cementos Cosmos Oural utiliza as seguintes fontes de enerxía:

⁷⁵ No caso do fuelóleo, as emisións de CO₂ unicamente se reducirían utilizando aceite reciclado.

fuelóleo, coque de petróleo, electricidade, combustibles derivados de residuos perigosos (en adiante, CDR perigoso) e non perigosos (en adiante CDR non perigoso), residuos líquidos peligrosos, neumáticos fóra de uso (en adiante NFU) e biomasa.

A utilización de residuos na combustión nas plantas de produción de cemento pode chegar a porcentaxes superiores ao 80% en relación ao total de combustibles. En Alemaña, o valor promedio era 64,5% en 2015 (Oerter, 2017). A biomasa tamén pode ser un substituto dos combustibles fósiles; e a electrificación do forno de calcinación, outra alternativa. A dispoñibilidade de residuos bioxénicos, biomasa e combustibles derivados da biomasa podería condiciona-la opción elixida. A parte restante cubriríase con biomasa e (moi ocasionalmente se é necesario) coque de biopetróleo. O coque de biopetróleo debería usarse en pequenas cantidades porque será un recurso producido en pequenas cantidades (como se indicou na subsección 7.3.2). Con isto, a descarbonización das emisións de combustión en Cementos Cosmos Oural sería plena. A transición podería ser gradual: aumentar paulatinamente o peso relativo dos residuos reducindo o do coque e o fuelóleo e/ou introducindo inicialmente unha certa cantidade de residuos non bioxénicos, todo isto tendo en conta sempre o cumprimento dos obxectivos de redución de emisións especificados.

Para cumprir cos obxectivos de mitigación máis ambiciosos en relación ás emisións de proceso, a vía máis interesante economicamente semella se-la implementación de ADs que non requiran a substitución de grandes equipos industriais. Concretamente, aquelas ADs que permiten producir cemento baixo en carbono sen necesidade de cambia-lo actual forno industrial resultan as máis propicias para este caso de estudo⁷⁶. No caso de que a industria do cemento en Galicia aumente coa creación de novas plantas, as tecnoloxías baixas en carbono que non requiren a produción de clínker (por exemplo, a tecnoloxía Carbstone

⁷⁶ Hai que ter en conta tamén que a industria vén de realizar un investimento de tres millóns de euros en 2017 (Penoucos, 2017).

(VITO, n.d.) ou materiais activados por álcali) poderían resultar en cambio as máis interesantes (UN Environment, Scrivener, John, & Gartner, 2018, p. 20).

Entre as opcións de descarbonización da produción de cemento que utilizan fornos convencionais destacan as seguintes: (1) arcilla calcinada e pedra caliza moída, (2) clínkers belíticos que conteñen yelimita (tamén coñecidos como sulfoaluminato de calcio ou CSA; en adiante, BYF), (3) clínkers de silicato de calcio (en adiante, CCSC) e (4) clínkers de óxido magnésico derivado de silicato magnésico (en adiante, MOMS). Todas elas son alternativas de substitución de materias primas e a primeira é unha técnica xa dispoñíbel, mentres que as tres restantes todavía non.

A substitución de insumos materiais mediante arcilla calcinada e pedra caliza moída permitiría reducións nas emisións tanto de proceso coma de combustión na fabricación de cemento mentres non están dispoñíbeis ADs máis ambiciosas. A AD proposta consistiría na redución do contido en clínker do cemento. A composición do clínker nos materiais que produce cementos cosmos presenta un rango de entre o 65% ata máis do 98% do cemento resultante producido. É posíbel diminuí-lo contido de clínker en maior medida, acadando un factor de clínker inferior ao 0,6 (é dicir, un porcentaxe de clínker inferior ao 60%) sen varia-las propiedades do material resultante, mediante a incorporación dunha combinación de arcilla calcinada e pedra caliza moída, e mediante o incremento do porcentaxe de diluínte engadido (UN Environment et al., 2018, pp. 10-13).

A maiores, de implementar só BYF e CCS (e non MOMS), sería preciso combinada-las con CCU para unha senda de mitigación coherente con 1,5°C; en caso contrario outros sectores deberían compensa-las emisións de Cementos Cosmos Oural, as cales non semellan ser moi elevadas, polo que habería que estudar esta opción de se-lo caso (con enfoques intersectoriais). MOMS permite mitiga-las emisións de proceso ao 100% sen CCU; non obstante, o seu TRL inferior a 5 ofrece perspectivas incertas de introdución no mercado. Mentres non está dispoñíbel MOMS, deberíanse implementa-lo resto de ADs sen facer uso de CCU. A AD CCU, por tanto, só se implementaría no caso de que MOMS non se chegase

a introducir no mercado e no caso de que non se poden compensar noutros sectores as emisións de proceso xeradas sen CCU; o elevado custe de capital dos sistemas de CCU obriga a adoptar estas consideracións.

CCSC ofrece potenciais de mitigación de ata o 70% e de aforro enerxético do 20%⁷⁷. Este cemento, por exemplo o Solidia, fragua en 24 horas e é producido co mesmo tipo de materias primas e no mesmo forno có cemento Portland ordinario, pero require inferiores temperaturas, usa minerais de menor contido en caliza e absorbe CO₂ durante o fraguado⁷⁸. Sen embargo, require cámaras especiais para o seu fraguado (proceso que non tería porque realizarse na planta de Oural) e pode ter limitadas saídas no mercado (nalgúns casos unicamente elementos prefabricados de formigón) (UN Environment et al., 2018). Ademais, non se podería producir formigón armado con aceiro, pero si con fibra de carbono, tecnoloxía que ten un TRL de 7-8 (Chan, Y. et al., 2019).

Dada-las limitadas saídas ao mercado de CCSC, é necesario introducir algunha outra AD que permita descarboniza-la produción dos cementos cos que non se produce hormigón industrialmente. A alternativa máis adecuada semella ser BYF (UN Environment et al., 2018). Este clínker contén arredor dun 20-30% menos de caliza có clínker Portland, resultando nun porcentaxe de emisións de CO₂ equivalente ou lixeiramente superior, dada a maior eficiencia enerxética do proceso. O investimento en activos fixos sería innecesario por parte das plantas que producen cemento Portland, pero os custos de operación serían elevados, pois a materia prima que substitúe á caliza debe ser rica en aluminio e por conseguinte é máis cara. Unha excepción sucede cando existe dispoñibilidade de materiais ricos en aluminio e ferro a baixo prezo (por exemplo, os residuos de bauxita, concretamente barro vermello: o custo da materia prima reduciríase. A xeración anual deste residuo na IIE galega (segundo se indica na subsección 7.3.11, relativa

⁷⁷ Con respecto ao cemento Portland ordinario (o cal contén ata un 95% de clínker).

⁷⁸ Se ben a absorción de CO₂ é unha vantaxe en termos de descarbonización da economía, cabe ter en conta que dependendo do prezo deste gas os custos de operación poderían supoñer ou non un obstáculo á implementación desta tecnoloxía. O CO₂ capturado con CCU no propio complexo podería ser proveitosamente utilizado e, se non é abondo o capturado na produción de clínker, poderían existir sinerxias con outros complexos industriais que implementen tecnoloxías de captura de carbono.

á industria do aluminio) fai que esta AD sexa de moito interese para a industria do cemento en Galicia. Do contrario, sería necesario un incremento importante nos impostos ao CO₂ emitido para que esta tecnoloxía sexa competitiva no mercado. Esta tecnoloxía podería ser, ademais, de rápida implementación en termos de dispoñibilidade tecnolóxica: o TRL estímase en 8-9 (Chan, Y. et al., 2019, pp. 50-51).

Requerimentos enerxéticos, materiais e tecnolóxicos

A demanda enerxética variaría substancialmente en calidade e cantidade. A súa contía é dificilmente estimábel debido á dificultade para estima-la redución da intensidade enerxética acadábel coa aplicación das distintas ADs expostas. Non obstante, de seren aplicadas estas ADs, tería unha transición enerxética no relativo ás fontes de enerxía: os combustíbeis fósiles e os residuos fósiles substituíríanse paulatinamente por residuos bioxénicos e biomasa (e se é necesario, coque de biopetróleo en pequenas cantidades). Entre os residuos bioxénicos que poderían incluírse están: lodos de depuradora, graxa animal, serraduras e madeira.

En relación aos requerimentos materiais, dado que boa parte da descarbonización nesta industria se produciría a través de alternativas de substitución material de insumos, o subministro de determinados materiais a Cementos Cosmos Oural é de vital importancia. Estes serían: minerais con baixo contido en caliza (por exemplo, wollastonita) para CCSC; bauxita, residuo de bauxita (barro vermello) ou outros minerais con alto contido en alúmina (igual ou superior ao 16,4%) para BYF; silicatos magnésicos para MOMS e arcilla calcinada, pedra caliza moída e diluínte (UN Environment et al., 2018).

Por último, en termos de preparación tecnolóxica, é moi conveniente investir esforzo e recursos en I+D para o desenvolvemento de MOMS, unha tecnoloxía de gran interese para a descarbonización da produción de clínker (permite descarboniza-las emisións de CO₂ ao 100% sen necesidade de CCU); actualmente ten un TRL inferior a cinco. BYF e CCSC están practicamente listas en termos de preparación tecnolóxica para a súa introdución e difusión a gran escala no mercado: presentan un TRL de 8-9 (Chan, Y. et al., 2019).

7.3.9. Outros produtos minerais non metálicos n.c.n.: magnesita cáustica

A industria de fabricación doutros produtos minerais non metálicos non clasificados noutra parte (CNAE 23.99) consta dun só complexo industrial en Galicia: Magnesitas de Rubián, pertencente á empresa Magnesitas de Rubián, S.A. (Rexistro PRTR-España, 2020a).

Estrutura produtiva e emisións

Magnesitas de Rubián produce magnesita cáustica mediante trituración e calcinación de carbonato de magnesio en forno rotativo a unha temperatura inferior a 800°C. Os combustibles empregados son coque de petróleo, semiantracita e gas natural; utilízanse no forno de calcinación. A maiores prodúcese enerxía eléctrica en réxime de coxeración a partir de gasóleo, aínda que só en caso de emerxencia, e prepárase o coque utilizando enerxía térmica procedente da combustión de gas natural. A produción de magnesita cáustica foi 68.754 t en 2016 e o consumo enerxético total, 505.890,54 GJ (datos relativos ao ano 2016), dos cales a principal fonte de enerxía foi coque de petróleo (ver gráfico 15) (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020g).

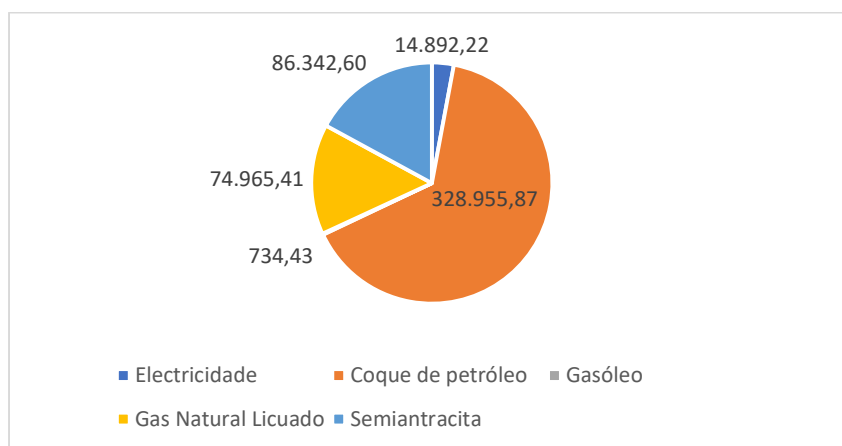


Gráfico 15: Consumo enerxético en Magnesitas de Rubián por fonte de enerxía, ano 2016 (GJ).

Elaboración propia a partir de datos de Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda;

Resolución de modificación da autorización ambiental integrada número de Rexistro:

2006/0187_NAA/IPPC_146.

As emisións da industria da magnesita en Galicia foron 119,00 ktCO₂eq/ano entre 2015 e 2019, sendo o 100% delas CO₂. O 61,6% delas foron de proceso, no proceso de calcinación, e o 38,4% restante debéronse á combustión de gas natural, coque de petróleo, semiantracita e gasóleo, segundo se indica no gráfico 16. As intensidades enerxética e carbónica en 2016 foron 7,36 GJ/t e 1,77 tCO₂/t, respectivamente.

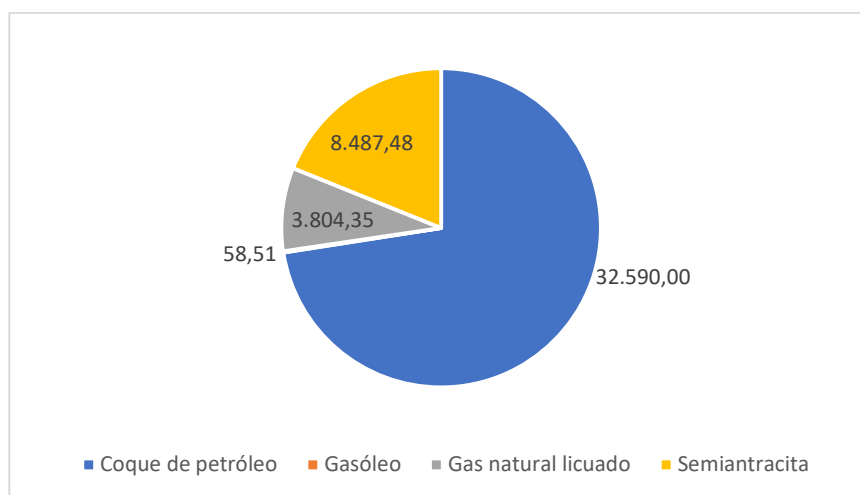


Gráfico 16: Emisións de combustión por fonte. Magnesitas de Rubián, ano 2016 (tCO₂)

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización da industria da magnesita cáustica en Galicia é do 93,8% con CCU e do 38,4% sen CCU, e o coeficiente de transición enerxética, de 0,42. A produción material asúmese constante por non haber datos de proxeccións de produción material e por tomar MD e ME de LED do sector “Outros”. As ADs propostas para esta industria son: tecnoloxías CCU, transición cara fontes de enerxía neutras en carbono e substitución do forno de calcinación.

A mitigación das emisións de combustión lograríase mediante a utilización de hidróxeno como fonte de enerxía para o forno de calcinación ou a substitución do forno actual por outro electrificado (Euromines, 2020). Por outro lado, deberíase substituí-lo forno rotatorio de calcinación por un de leito fluidizado, pois este permitiría conseguir grandes reducións na intensidade enerxética do proceso

(Chan, Y. et al., 2019, p. 88): esta reduciríase un 58,1%⁷⁹. Por último, as emisións de proceso débense mitigar mediante a implementación de tecnoloxías CCU. A non aplicación desta AD situaría o potencial de descarbonización en 0,38, o cal queda lonxe dos obxectivos de mitigación necesarios. De lograr unha redución importante da produción material en Magnesitas de Rubián (cabe ter en conta que o CTM para este sector estimouse moi elevado: igual a un), poderíase incrementa-lo potencial de descarbonización non sendo necesaria CCU se as emisións non mitigadas por debaixo do obxectivo de redución de emisións para 2050 son compensadas por outros sectores e/ou industrias.

Non se identifican requerimentos materiais para esta industria. Os requerimentos enerxéticos consistirían na demanda de biomasa para substituír ao gasóleo empregado na central de coxeración, e na demanda de hidróxeno ou electricidade para o forno de calcinación. A utilización de hidróxeno en substitución de gas natural xeraría certas perdas na eficiencia enerxética (Comisión Europea, 2018a, p. 64), mais a substitución do forno rotatorio por un de leito fluidizado xeraría importantes aforros enerxéticos (arredor dun 60%). Debido a que o consumo enerxético nesta industria unicamente se ten para o ano 2016, non se realiza cálculo da demanda enerxética para 2050 para evitar erros que poidan deberse ao feito de que ese ano non represente adecuadamente o consumo enerxético habitual do complexo industrial.

A implementación de tecnoloxías CCU require importantes esforzos en I+D, pois actualmente presentan un TRL inferior a cinco. En canto á substitución do forno de calcinación por un de leito fluidizado, é unha tecnoloxía xa dispoñíbel; sen embargo, habería que investiga-la viabilidade de combinala coa substitución dos combustíbeis fósiles ou coa súa electrificación.

⁷⁹ Asímesa que o consumo eléctrico do proceso de calcinación é despreciábel con respecto ao térmico.

7.3.10. Produtos básicos de ferro, aceiro e ferroalixes

A industria de fabricación de produtos básicos de ferro, aceiro e ferroalixes en Galicia pode dividirse en tres en función dos materiais producidos: aceiro, ferrosilicio e outras ferroalixes e materiais (ferromanganeso, silicomanganeso e pasta de electrodos).

I) INDUSTRIA DO ACEIRO

A industria de fabricación de aceiro en Galicia consta de dous complexos industriais: Megasa Siderúrgica e Celsa Atlantic S.L. (Rexistro PRTR-España, 2020a) Ambos producen a variedade “largos” a partir de metal reciclado, xa sexa procesándoo no propio complexo ou comprando palanquilla fabricada a partir de chatarra.

Estrutura produtiva e emisións de CO₂

Megasa Siderúrgica produce aceiro liso e corrugado para formigón armado en barras e rolos. O proceso produtivo consta de dúas etapas: acería e laminación. No proceso de acería a materia prima (composta por un 97,1% de chatarra férrica) fúndese nun forno de arco eléctrico. A continuación refínase para eliminar as impurezas e engádense elementos (entre eles silicomanganeso e ferrosilicio) para obter as propiedades desexadas. O metal líquido cólase e transfórmase en palanquilla. En segundo lugar, no proceso de laminación a palanquilla circula entre rodillos, que lle dan as dimensións desexadas (AENOR Internacional S.A., 2020; Building Research Establishment Ltd, 2019). Megasa conta cun forno e unha liña de laminación (Bureau Veritas Iberia, S. L., 2017). O primeiro, utilizado en acería, ten unha capacidade produtiva de 780.000 t/ano; a liña de laminación, 635.000 t/ano de barras de aceiro corrugado e 125.000 t/ano de alambrón (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2013a).

Celsa Atlantic produce aceiro laminado en quente de tres tipos: corrugado (en barra e rolo), alambrón e barra lisa; o corrugado e a barra lisa destínanse á fabricación de formigón. Como materia prima utilízase palanquilla fabricada en Celsa France a partir de chatarra. En Celsa Atlantic este material procésase

mediante un tren de laminación de redondo corrugado en barra e outro de redondo corrugado en rolo e alambión para dar lugar aos produtos mencionados.

A industria do aceiro en Galicia xerou 62,82 ktCO₂/ano entre 2015 e 2019⁸⁰ debido principalmente a procesos de combustión. As emisións de proceso prodúcense unicamente en Megasa no proceso de acería e representan o 18,04% do total de emisións do total da industria (ano 2018). As emisións de combustión prodúcense en Megasa tanto en acería coma en laminación pola combustión de gas natural e en Celsa unicamente debido á combustión de gas natural en fornos previos ao proceso de laminación⁸¹. En Celsa as emisións de CO₂, a intensidade enerxética e a intensidade carbónica apenas tiveron cambios entre 2015 e 2019⁸². En canto a Megasa só foron proporcionados para 2018, pero sábese, segundo o responsábel de medio ambiente deste complexo industrial, que non houbo variacións destacables nos niveis de produción no período indicado. Os informes ambientais referenciados tampouco indican cambios estruturais nos procesos nin no consumo enerxético.

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización da industria do aceiro en Galicia é de 86,8% sen CCU e de 98,7% con CCU en 2050. O 100% non é posíbel polas limitacións de captura de carbono con CCU (capturas de máis do 90% son difíciles e moi custosas). A taxa de variación da produción entre 2018-2019 e 2050 é de -18,48% para a Unión Europea segundo a IEA no escenario SDS (Axencia Internacional da Enerxía, 2020a).

A estratexia para mitiga-las emisións en Megasa consiste na substitución de gas natural por biogás ou hidróxeno e (baixo os requisitos indicados na subsección 7.2.2) na aplicación de CCU. No primeiro caso, o proceso produtivo quedaría intacto

⁸⁰ Para Megasa considérase unicamente o ano 2018 porque é o único para o que se teñen datos de fonte directa do complexo industrial. Non se toman os datos do Rexistro PRTR para outros anos porque é probable que conteñan un erro (non semella coherente o dato do ano 2017).

⁸¹ A técnico de medio ambiente de Celsa Atlantic notifica que entre o 99,95% e o 99,99% das emisións de CO₂ do complexo se atribúen á combustión de gas natural en fornos.

⁸² Non se mostran os valores de intensidade enerxética, intensidade material nin produción material neste complexo por motivos de confidencialidade.

e o único cambio neste tería lugar no combustíbel usado para para xerar calor, sen necesidade de cambios na tecnoloxía de combustión. No caso da tecnoloxía CCU, esta empregaríase para captura-las emisións de proceso, que ascenden a 11335,66 tCO₂ (ano 2018).

A descarbonización de Celsa Atlantic sería do 100% e podería ter lugar por dúas vías: electrificación dos fornos ou utilización de H₂ ou biogás como substituto de gas natural. A primeira delas tería lugar coa tecnoloxía “Quecemento magnético de palanquilla” (Bublík, 2010).

Os requerimentos enerxéticos non se poden calcular porque non se coñece a eficiencia dos fornos nos que se quenta a palanquilla, mais en termos cualitativos consistirían no aumento de electricidade, hidróxeno ou biogás. Non se identifican requerimentos materiais. Os requerimentos de I+D para a descarbonización da industria do aceiro son elevados para as emisións de proceso: a tecnoloxía CCU ten un TRL inferior a cinco. As emisións de combustión pódense mitigar con tecnoloxías dispoñíbeis.

II) INDUSTRIA DE FERROSILICIO

A industria de ferrosilicio en Galicia está presente en tres complexos industriais: “Xallas Electricidad y Aleaciones, S.A.U. – Cee” (en adiante, XEAL Cee), “Xallas Electricidad y Aleaciones, S.A.U. – Dumbría” (en adiante, XEAL Dumbría e conxuntamente con XEAL Cee, XEAL) e “Ferroatlántica de Sabón S.L.U.” (en adiante Ferroatlántica de Sabón), pertencentes ás empresas Xallas Electricidad y Aleaciones, S.A.U. e a Ferroatlántica de Sabón S.L.U. (Rexistro PRTR-España, 2020a). Ferroatlántica de Sabón é abordado conxuntamente coa produción de silicio na subsección 7.3.12. debido a que ambas teñen lugar no mesmo complexo industrial, clasificado dentro da clase CNAE09 24.45: Producción doutros metais non férreos.

Estrutura produtiva e emisións

XEAL produce ferrosilicio e microsílíce mediante a redución do cuarzo a través dunha secuencia de reaccións químicas nas que participan hulla, coque de petróleo e madeira como axentes redutores. A redución do cuarzo prodúcese en

fornos eléctricos de arco sumerxido en medio acuoso, nos cales se alcanzan temperaturas cercanas a 3000°C. Este proceso é idéntico ao que ten lugar en Ferroatlántica de Sabón, con tres excepcións: (1) en XEAL Cee o ferrosilicio colado deposítase non só en bolsas denominadas “eras”, senón tamén (alternativamente) en lingoteiras (no caso do forno H12), (2) en XEAL Dumbría o ferrosilicio recibe un tratamento adicional cando se requiren calidades distintas á estándar e (3) o coque empregado como redutor en XEAL é de petróleo, non metalúrxico (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020i; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020j).

Os niveis de produción entre 2015 e 2019 de ferrosilicio e microsíllice en XEAL foron de 70.760 t/ano e 16.803 t/ano, respectivamente, o 75,1% e o 78,7% de cada material respectivamente produciuse en Dumbría. A intensidade enerxética neste complexo foi 26,03 GJ/t/ano e a carbónica, 2,71 tCO₂/t; ambas para o período 2017-2019⁸³ e con pequenas variacións interanuais. Non se aprecia unha descarbonización da produción no complexo xa que os procesos que emiten GEI non sufren variacións (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020j).

⁸³ Tómase o período 2017-2019 para a análise destas emisións porque foron calculadas mediante a resta: emisións totais menos emisións de combustión, e as emisións de combustión só se coñecen para o período para o que se dispón de consumos enerxéticos en XEAL publicamente, que é a partir de 2017.

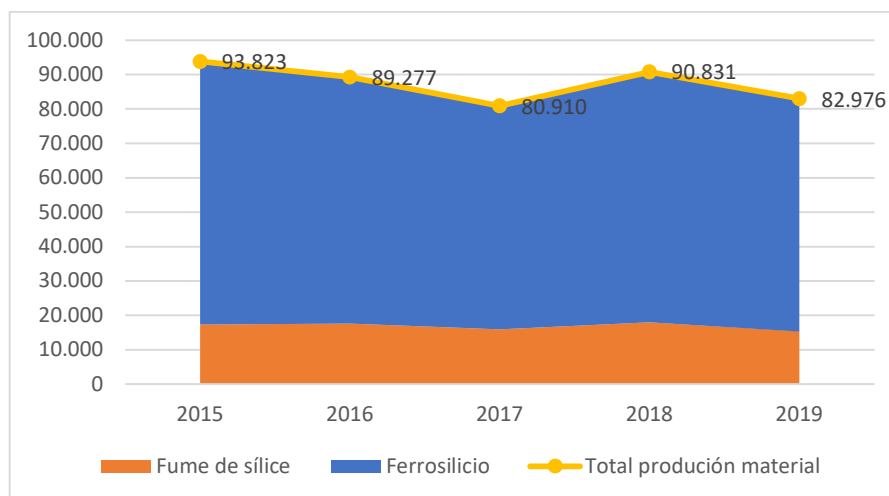


Gráfico 17: Producción de ferrosilicio e fume de sílice en XEAL entre 2015 e 2019 (toneladas). Elaboración propia a partir de datos de Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda (2020i; 2020j)

As emisións da fabricación de ferrosilicio en XEAL Dumbría foron 179,80 ktCO₂eq/ano (100% CO₂) entre 2015 e 2019. As emisións correspondentes en XEAL Cee non foron subministradas polo complexo no cuestionario e tampouco se atopan dispoñíbeis publicamente; se ben, coñécese que foron maioritariamente de proceso, tanto en Cee coma en Dumbría, procedentes das materias primas (principalmente dos axentes redutores) na reacción de redución de cuarzo. En Dumbría, as emisións de proceso representaron entre 2017⁸⁴ e 2019 o 99,95% das emisións totais. Ademais, hai unha pequena cantidade de emisións producidas na combustión de gasóleo en ambos complexos.

Estratexia de descarbonización

Asumindo que a distribución das emisións de proceso é similar a de Ferroatlántica de Sabón, o potencial de descarbonización nesta industria é moi elevado; de 1 se se logran as seguintes ADs de substitución de materiais. A primeira delas consistiría no uso de carbón renovábel, por exemplo carbón vexetal ou madeira, como axente redutor do cuarzo en substitución de dúas das materias

⁸⁴ Tómase o período 2017-2019 para a análise destas emisións porque foron calculadas mediante a resta: emisións totais menos emisións de combustión, e as emisións de combustión só se coñecen para o período para o que se dispón de consumos enerxéticos en XEAL publicamente, que é a partir de 2017.

primas usadas actualmente: hulla e coque de petróleo. O seu uso sería non enerxético e substituiría aos materiais con contido en carbono de orixe fósil (hulla e coque metalúrxico) (Wyns et al., 2018a). Con esta AD espérase posíbel mitigar a gran maioría das emisións se a estrutura produtiva é similar á de Ferroatlántica de Sabón no proceso de fabricación de ferrosilicio e supera-lo potencial de descarbonización necesario para 2050 xunto coa substitución de gasóleo para as pequenas emisións de combustión.

A segunda AD consistiría na utilización de pasta de electrodos sen carbono fósil, estratexia que debería ser implementada por XEAL Cee, que é a industria da que provén a pasta de electrodos empregada en XEAL Dumbría. De non lograrse esta AD e non ser suficiente coa anterior, sería necesario que outras industrias ou sectores económicos incrementasen os seus niveis de redución para compensar as emisións correspondentes da fabricación de ferrosilicio; descártase o uso de CCU porque as emisións que faltarían por mitigar estímase moi pequenas. Unha maior información sobre as emisións neste complexo permitiría resolver estas incertidumes.

Os requerimentos enerxéticos da descarbonización de XEAL Dumbría na fabricación de ferrosilicio e microsílíce serían unicamente biodiésel para substituír ao gasóleo, concretamente 1.161,659 GJ anuais. A demanda enerxética da fabricación de ferrosilicio (e fume de sílice) en XEAL Cee non se pode identificar por non dispoñerse de datos; no seu lugar estímase a demanda enerxética do complexo XEAL Cee (véxase subapartado “III) Outras industrias: ferromanganeso, silicomanganeso e pasta de electrodos” dentro desta subsección).

Os requerimentos materiais son carbón vexetal e madeira para substituír aos axentes redutores de orixe fósil (hulla e coque de petróleo). As cantidades requeridas de cada poden obterse en base aos porcentaxes de auga e carbono que conteñen as masas de axente redutor en base húmeda e seca, respectivamente, e coñecendo a masa de cada axente redutor requerida para producir unha tonelada de ferrosilicio. Ao non coñecerse os porcentaxes mencionados, tómanse para este

cálculo os respectivos da fabricación de ferrosilicio en Ferroatlántica de Sabón⁸⁵; asúmese ademais que o 100% das estelas de madeira, hulla e coque de petróleo consúmese neste proceso⁸⁶. os valores resultantes son, por tanto, aproximados. Por outro lado, considéranse cinco escenarios de substitución dos axentes redutores: o escenario 1 asume 100% substitución por madeira; o 2, 75%; o 3, 50%; o 4, 25%, e o 5, 0%; sendo cubérta-las fraccións restantes por carbón vexetal. Na táboa 7 amósanse os resultados en kilotoneladas de axente redutor en base húmeda; serían os requerimentos materiais anuais destes complexo industrial para implementa-la AD “Carbón renovábel como axente redutor” na fabricación de ferrosilicio e fume de sílice mantendo niveis de produción iguais aos do ano promedio entre 2017⁸⁷ e 2019.

Táboa 7: Requerimentos materiais anuais para XEAL na fabricación de ferrosilicio e microsílíce. AD "Carbón renovábel como axente redutor" (kt)					
Axente redutor	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Madeira	233,10	174,82	116,55	58,27	0,00
Carbón vexetal	0,00	44,77	89,53	134,30	179,06
Notas: o escenario 1 asume 100% substitución por madeira; o 2, 75%; o 3, 50%; o 4, 25%, e o 5, 0%; sendo cubérta-las fraccións restantes por carbón vexetal.					

En canto aos requerimentos tecnolóxicos, os únicos para esta estratexia de descarbonización serían a investigación para a identificación de alternativas á antracita da pasta de electrodos e o desenvolvemento da AD LHT da biomasa

⁸⁵ Hai que ter en conta que o coque de petróleo non se utiliza en Ferroatlántica de Sabón como axente redutor, senón que se utiliza coque metalúrxico.

⁸⁶ Enténdese que senón é o 100%, é cerca do 100%, polos detalles dos procesos que se indican na AAI correspondente.

⁸⁷ Non se calculan a partir de 2015 porque os consumos de axente redutor só se coñecen a partir de 2017. Están dispoñíbeis nas autorizacións ambientais integradas correspondentes citadas con anterioridade.

(véxase subsección 7.3.2) para a produción de biopetróleo para o coque de biopetróleo. Dependendo do porcentaxe de emisións que proveñan deste material no conxunto dos procesos industriais nos que participa, a importancia desta AD sería maior ou menor.

III) OUTRAS INDUSTRIAS: FERROMANGANESO, SILICOMANGANESO E PASTA DE ELECTRODOS

O complexo industrial XEAL Cee conta con produción doutras ferroaleacións e metais, ademais do ferrosilicio e o fume de sílice: ferromanganeso, silicomanganeso e pasta de electrodos tipo Söderberg. Os seus respectivos procesos produtivos son similares aos de ferrosilicio, aínda que con certas variacións. As principais diferenzas que cabe destacar no proceso produtivo de ferromanganeso son: diferentes materias primas (neste caso son principalmente minerais de manganeso e coque metalúrxico) e diferente procesamento do metal colado. Ademais de ferromanganeso prodúcese escoura (como subproduto), a cal se envía como entrada ao proceso produtivo de silicomanganeso. No caso do silicomanganeso, as principais diferenzas con respecto á fabricación de ferromanganeso son: utilización de materias primas adicionais (escoura xerada no anterior proceso e aportadores de silicio: cuarzo e picaduras de silicio). A escoura xerada neste caso non ten aplicacións metalúrxicas. Por último, a pasta de electrodos fábricase a partir de antracita, brea e finos de coque (coque de petróleo calcinado) mediante desgasificación (da antracita), mestura nunha amasadora, compactación e arrefriamento. A posteriori, nos fornos das ferroalixes, prodúcese grafitización da pasta resultante (2020i).

A evolución dos niveis de produción entre 2015 e 2019 transcorreu sen grandes cambios agás no silicomanganeso, que tivo un pico en 2018 (véxase gráfica 18).

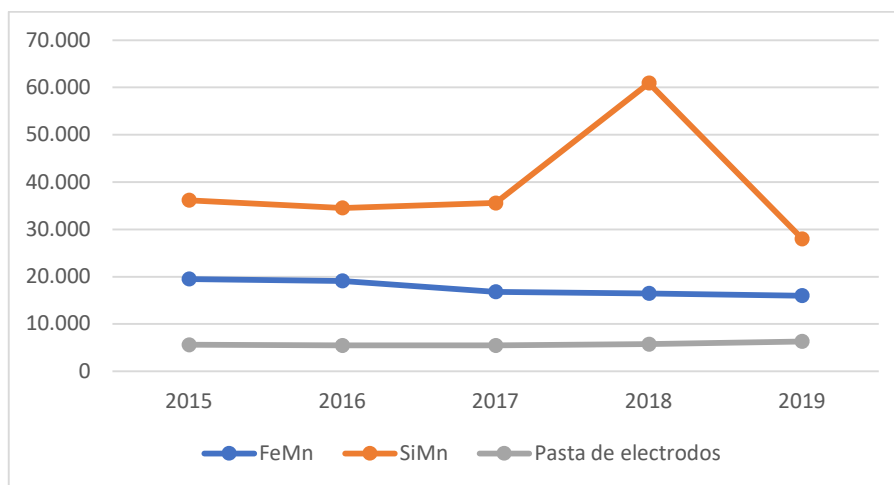


Gráfico 18: Producción material de XEAL Cee de ferromanganeso (FeMn), silicomanganeso (SiMn) e pasta de electrodos; período 2015-2019. Elaboración propia a partir de datos de Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020i)

O consumo enerxético e as emisións GEI non se ofrecen publicamente desagregadas por proceso produtivo neste complexo, polo que non é posíbel a súa análise tralo silencio de XEAL Cee ante a enquisa realizada. Unicamente coñécese as emisións totais deste complexo, as cales inclúen o proceso produtivo de ferrosilicio e microsílíce (clasificado como parte da industria de ferrosilicio); estas foron 141,70 ktCO₂eq/ano de 2015 a 2019, o 100% foron de CO₂. En canto á categoría das emisións nos procesos produtivos de ferromanganeso e silicomanganeso, estas son maioritariamente de proceso procedentes principalmente dos axentes redutores nas reaccións de redución das materias primas (principalmente dos de mineral de manganeso, cuarzo, aportador de ferro e escoria de ferromanganeso). Na produción de pasta de electrodos, enténdese que as emisións maioritarias son tamén de proceso na calcinación de antracita (o forno é eléctrico); a información solicitada a XEAL Cee a través da enquisa tería permitido precisar máis a orixe e cantidade das emisións deste complexo. Ademais, hai unha pequena cantidade de emisións producidas na combustión de gasóleo.

As emisións de CO₂ (e de CO₂eq) en XEAL Cee diminúen fortemente de 2018 a 2019, mais esta diminución non se produce debido a unha descarbonización real na estrutura produtiva; son debido á redución da produción material, como pode

deducirse tras analiza-la evolución da intensidade carbónica nese período (véxanse gráficas 19 e 20).

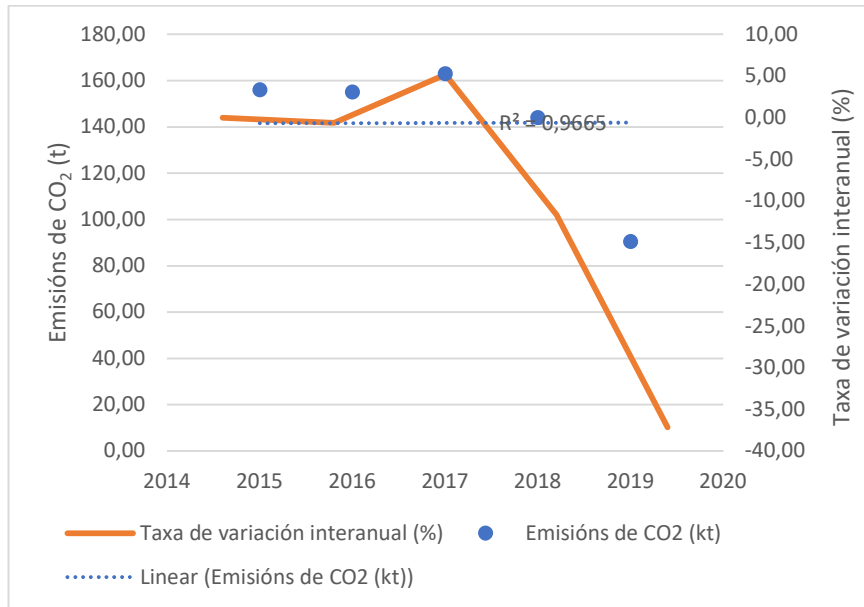


Gráfico 19: Emisións de CO₂ en XEAL Cee, 2015-2019.

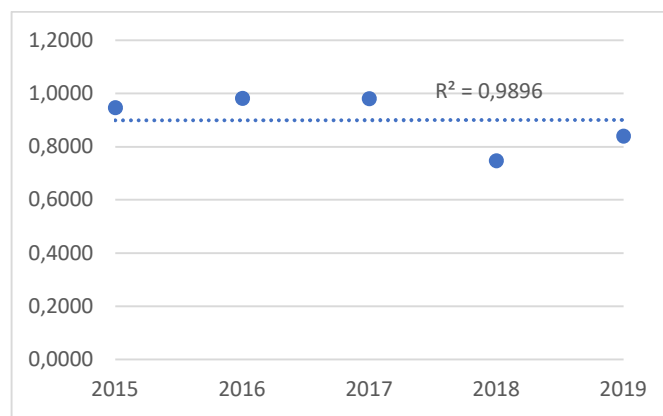


Gráfico 20: Intensidade carbónica da produción total. XEAL Dumbría, 2015-2019 (tCO₂/t)

En canto á intensidade carbónica en XEAL Cee, existen certas variacións entre 2015 e 2019, cun valor promedio anual é 0,90 tCO₂/t⁸⁸, mais non se aprecia unha descarbonización da produción no complexo xa que os procesos que emiten

⁸⁸ Estes valores calcúlanse sobre o total de produción de XEAL Cee: a suma de ferrosilicio, fume de sílice, ferromanganeso, silicomanganeso, pasta de electrodos tipo Södeberg e escouras de (de ferromanganeso e silicomanganeso).

GEI non sufren variacións (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020i). A intensidade enerxética entre 2017 e 2019 foi de 8,94 GJ/t.

Estratexia de descarbonización

A estratexia de descarbonización da industria de ferromanganeso e silicomanganeso é semellante á da industria de ferrosilicio. O potencial de descarbonización é elevado mediante a substitución dos axentes redutores por carbón renovábel. De a distribución das emisións por proceso e fonte ser equivalentes ás de Ferroatlántica de Sabón, o obxectivo de descarbonización en 2050 podería lograrse con esta AD e coa substitución de gasóleo por biodiésel. De non ser así, podería ser necesaria a busca de alternativas renovabeis para a pasta de electrodos en substitución dos finos de coque e a antracita. Se non se atopan estas alternativas, propónse que outras industrias ou sectores incrementen a súa descarbonización para compensar estas emisións. De producirse isto, as emisións que faltarían por reducir serían previsibelmente baixas, tomando como referencia procesos moi semellantes coma o da industria de ferrosilicio. Unha maior información sobre as emisións neste complexo permitiría resolver estas incertidumes.

Os requerimentos enerxéticos da descarbonización de XEAL Cee serían unicamente biodiésel para substituír ao gasóleo, concretamente 1.470,64 GJ anuais para manter niveis de produción iguais aos actuais. Os requerimentos materiais son carbón vexetal e madeira para substituír aos axentes redutores de orixe fósil (fundamentalmente coque metalúrxico) e materiais que sirvan como alternativa á antracita e os finos de coque da pasta de electrodos. O consumo de antracita entre 2017 e 2019 foi de 3.364,67 t/ano; o de coque, foi 1.209 t/ano (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020i, p. 19).

As cantidades requeridas de carbón vexetal poden obterse en base aos porcentaxes de auga e carbono que conteñen as masas de axente redutor en base húmeda e seca⁸⁹, respectivamente, e coñecendo a masa de axente redutor requerida para producir unha tonelada de produto. Ao non coñece-los porcentaxes

⁸⁹ Tómanse os valores promedio do carbón vexetal utilizado no período de estudo (2015-2019).

mencionados, tómanse para este cálculo os respectivos da fabricación de ferrosilicio en Ferroatlántica de Sabón⁹⁰; asúmese ademais que o 100% de axente redutor nestes procesos é coque metalúrxico, segundo parece indicarse na AAI correspondente⁹¹; os valores resultantes son, por tanto, aproximados. Por outro lado, para este cálculo asúmense cinco escenarios de substitución dos axentes redutores: o escenario 1 asume 100% substitución por madeira; o 2, 75%; o 3, 50%; o 4, 25%, e o 5, 0%; sendo cubérta-las fraccións restantes por carbón vexetal. Na táboa 8 amósanse os resultados en kilotoneladas de axente redutor en base húmeda; serían os requerimentos materiais anuais deste complexo industrial para implementa-la AD “Carbón renovábel como axente redutor” na fabricación de ferromanganeso e silicomanganeso mantendo niveis de produción iguais aos do ano promedio entre 2017⁹² e 2019.

Táboa 8: Requerimentos materiais anuais para XEAL Cee na produción de ferromanganeso e silicomanganeso. AD "Carbón renovábel como axente redutor" (kt)					
Axente redutor	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Madeira	73,54	55,15	36,77	18,38	0,00
Carbón vexetal	0,00	14,12	28,25	42,37	56,49
Notas: o escenario 1 asume 100% substitución por madeira; o 2, 75%; o 3, 50%; o 4, 25%, e o 5, 0%; sendo cubérta-las fraccións restantes por carbón vexetal.					

⁹⁰ Hai que ter en conta que o coque de petróleo non se utiliza en Ferroatlántica de Sabón como axente redutor, senón que se utiliza coque metalúrxico.

⁹¹ Enténdese que senón é o 100%, é cerca do 100%, polos detalles dos procesos que se indican na AAI correspondente.

⁹² Non se calculan a partir de 2015 porque os consumos de axente redutor só se coñecen a partir de 2017. Están dispoñíbeis nas autorizacións ambientais integradas correspondentes citadas con anterioridade.

De utilizarse coque de biopetróleo en substitución de coque de petróleo para a pasta de electrodos, a súa demanda sería 1.744,33 t/ano se se mantivesen os niveis de produción actuais, o cal semella exceder a capacidade de produción estimada para coque de biopetróleo no escenario enerxético que subxace trala senda de descarbonización (véxase subsección 7.3.2). Por tanto, outros materiais serían precisos para substituír ao coque se se manteñen os niveis de produción actuais. Polo de agora non temos identificado cales poderían ser.

En canto aos requerimentos tecnolóxicos, asúmese que a AD “Carbón renovábel como axente redutor” está dispoñíbel ao igual que na fabricación de silicio e ferrosilicio (son procesos da mesma natureza). O uso de hidróxeno ou biogás en substitución de gas natural tamén está dispoñíbel, polo que os únicos requerimentos tecnolóxicos para esta estratexia de descarbonización serían a investigación para a identificación de alternativas á antracita da pasta de electrodos e o desenvolvemento da AD LHT da biomasa (véxase subsección 7.3.2) para a produción de biopetróleo para o coque de biopetróleo. Dependendo do porcentaxe de emisións que proveñan deste material no conxunto dos procesos industriais nos que participa, a importancia desta AD sería maior ou menor.

7.3.11. Aluminio

A industria de produción de aluminio en Galicia está formada por tres complexos industriais: “Alúmina Española S.A.”, “Aluminio Español S.A.” e “Alu Ibérica LC, S.L. - La Coruña”, cuxas empresas matrices son: Alcoa Europe – Alúmina Española S.A., Alcoa Europe – Aluminio Español S.A. e Alu Ibérica LC S.L., respectivamente (Rexistro PRTR-España, 2020a; Rexistro PRTR-España, n.d.b).

Estrutura produtiva

A rama de actividade CNAE09 24.42: “Produción de aluminio” inclúe a produción de aluminio, tanto primario coma secundario, e alúmina (materia prima para a fabricación de aluminio primario). A produción de aluminio primario realízase en dous complexos: Alu Ibérica e Aluminio Español, a produción de aluminio

secundario realízase só en Alu Ibérica e a produción de alúmina ten lugar en Alúmina Española.

A fabricación de alúmina realízase a partir de bauxita seguindo o proceso Bayer a través de sete etapas: (1) transporte interior e almacenamento da bauxita, (2) trituración e moenda, (3) almacenamento de polpa de bauxita, (4) dixestión, (5) filtración, (6) precipitación e (7) calcinación. A capacidade produtiva deste complexo é de 1.500.000 t/ano. Non se dispoñen datos de produción material nin consumo enerxético para o período de estudo (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2013b).

As emisións de Alúmina Española entre 2015 e 2019 foron 646,00 ktCO₂eq, o 100% delas CO₂ segundo o Rexistro PRTR, sen grandes cambios interanuais (véxase gráfica 21). As emisións foron de combustión procedentes de gas natural para os procesos de xeración de vapor en caldeiras e de calcinación (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2013b). Non se aprecia unha tendencia decrecente das emisións nin cara a descarbonización no complexo industrial (non hai cambios produtivos dende 2014) (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2014b).

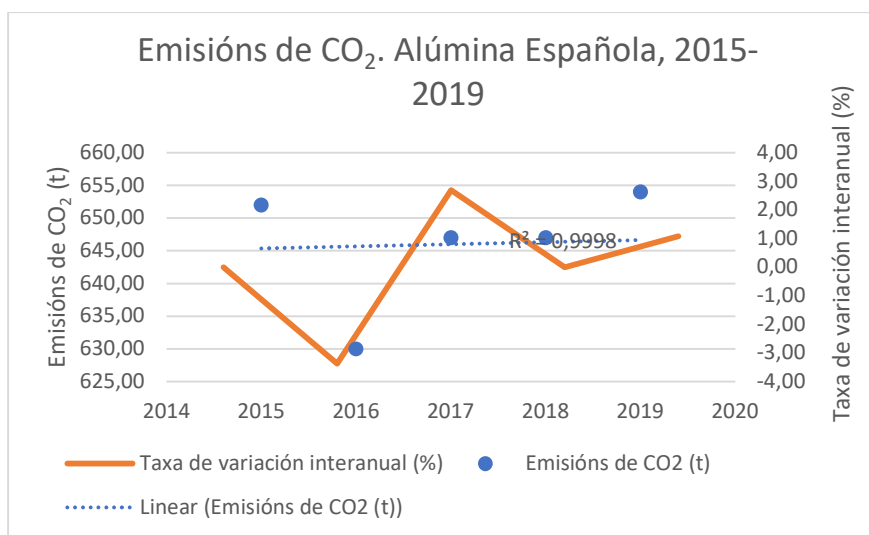


Gráfico 21: Emisións de CO₂ en Alúmina Española, 2015-2019 (t)

A produción de aluminio primario realízase mediante o proceso de electrólise Hall-Héroult a partir de alúmina e unha posterior fundición. A enerxía consumida no

primeiro proceso é enteiramente electricidade; no segundo, fuelóleo. En canto á fabricación de aluminio secundario, esta ten lugar a través de fundición a partir de metal almacenado e/ou reciclado, sen pasar polo proceso de electrólise. O produto final é aluminio (con ou sen elementos aleantes) en forma de lingotes, tochos e placas. Ademais destes materiais, na industria do aluminio fábrícase pasta electrometalúrxica (en Alu Ibérica) e ánodos precocidos (en Aluminio Español). Cadansúas fontes de enerxía son fuelóleo nas caldeiras de Alu Ibérica e fuelóleo e electricidade nas caldeiras e fornos de inducción, respectivamente, de Aluminio Español. Alu Ibérica está considerando a posibilidade de cambia-lo fuelóleo por gas natural (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2013b; Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020h). Na táboa 9 indícanse as capacidades produtivas de cada complexo industrial para os diferentes materiais:

Táboa 9: Capacidade produtiva na industria do aluminio en Galicia (toneladas/ano)		
Material	Alu Ibérica LC	Aluminio Español
Aluminio electrolítico	85.000	227.908
Aluminio fundido	121.000	n.d.
Pasta electrometalúrxica	20.000	n.d.
Ánodos precocidos	43.000	n.d.
Antracita calcinada	5.000	n.d.
Fontes: Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda (2013b; 2020h)		

O futuro de Alu Ibérica débatesse entre dous posíbeis escenarios: continuar coa actual estrutura produtiva ou elimina-la liña produtiva de electrólise mantendo o resto. A intensidade enerxética derivada do consumo enerxético e produción material nos dous escenarios que Alu Ibérica presenta é moi diferente: a do segundo deles (sen electrólise) é case dez veces inferior á do primeiro (3,6 GJ/t e 37,5 GJ/t,

respectivamente)⁹³ (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020h), valor coherente co doutras fontes (IEA, 2020). En relación á crise económica da COVID-19, descoñécese como pode influír a estas industrias; os complexos industriais non responderon á enquisa que se lles formulou.

As emisións de Alu Ibérica entre 2015 e 2019 foron 103,30 ktCO₂eq/ano, sendo o 100% delas CO₂. Estas emisións foron tanto de combustión coma de proceso. As primeiras déronse en procesos de xeración de vapor e fundición; as segundas, no proceso de electrólise Hall-Hérault. Existe unha forte tendencia decrecente nas emisións de Alu Ibérica, segundo se aprecia no gráfico 22. Datos sobre a produción material total no complexo nese período serían necesarios para determinar se esta tendencia se corresponde cunha descarbonización na produción ou cunha tendencia similar nos niveis de produción.

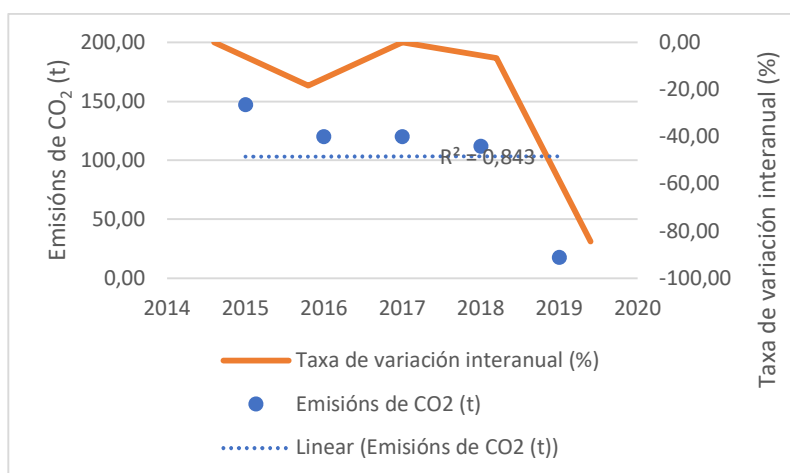


Gráfico 22: Emisións de CO₂. Alu Ibérica, 2015-2019

En canto ás emisións de Aluminio Español, foron 430,4 ktCO₂eq/ano entre 2015 e 2019, o 100% delas CO₂. Estas emisións foron tanto de combustión coma de proceso. As primeiras déronse nos procesos de fabricación de electrodos e fundición; as segundas, no proceso de electrólise Hall-Hérault. A evolución das

⁹³ O primeiro escenario presenta un máximo teórico de produción de 121.000 t de aluminio comercial, 20.000 t de pasta electrometalúrxica e 5.000 de antracita calcinada; o segundo diferénciase só na produción de aluminio: é 100% secundario e alcanza as 100.000 t.

emisións nese período non indica descarbonización da produción (véxase gráfico 23).

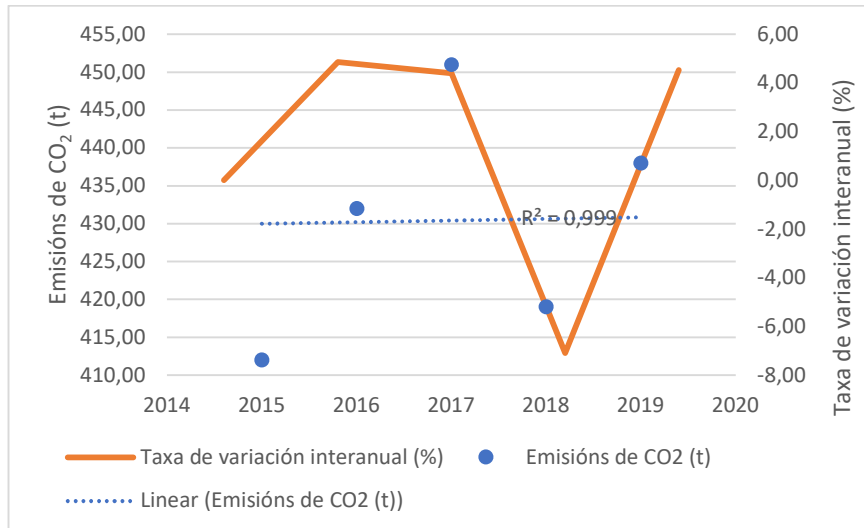


Gráfico 23: Emisións de CO₂. Aluminio Español, 2015-2019

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización da industria do aluminio en Galicia (incluíndo alúmina, aluminio secundario e aluminio primario) é do 100% e a intensidade enerxética pode ser reducida en gran medida. Isto podería lograrse mediante unha serie de transformacións produtivas, indicadas a continuación.

En primeiro lugar, a produción de aluminio primario debe transitar cara a de aluminio secundario. A produción de aluminio secundario é aproximadamente dez veces menos intensiva enerxeticamente cá produción de aluminio primario, como se indicou no diagnóstico. Segundo Europe Aluminium, existe potencial para que en 2050 o 72,2% da demanda de aluminio en Europa se satisfaga con aluminio secundario, procedendo o 50% de aluminio reciclado pos-consumo⁹⁴ (European Aluminium, 2020, p. 9). Por estes motivos e pese a que no escenario LED non se contempla a substitución (nin parcial nin total) da produción de aluminio primario por aluminio secundario, propónse para a descarbonización da industria do aluminio en

⁹⁴ O aluminio reciclado pos-consumo é o aluminio reciclado convencional, o que recibiu un uso e tras el foi reciclado. Pola contra, o aluminio reciclado pre-consumo é aquel que por diferentes motivos non se utiliza para a fabricación de produto terminado e que antes de chegar ao consumidor final é reciclado, entrando a formar parte da produción secundaria (European Aluminium, 2015, p. 13).

Galicia o incremento da produción secundaria deste metal. A industria do aluminio en Galicia ten marxe para ampliala produción secundaria e debe explotalo o máximo posíbel.

Esta transición da ruta primaria á secundaria de fabricación de aluminio debe ir acompañada dunha serie de transformacións produtivas en ambos procesos: tanto na produción primaria coma na secundaria. Para a produción de alúmina propónse a electrificación da xeración de vapor nas tres caldeiras de Alúmina Española (Wyns & Khandekar, 2019, p. 55) e o cambio do gas natural utilizado nos procesos de calcinación por hidróxeno ou biogás. Ademais, en caso de que o forno de calcinación sexa rotatorio, deberase cambiar por un de leito fluidizado para reduci-la intensidade enerxética do proceso (ata un 60%) (Chan, Y. et al., 2019, p. 88).

En canto ao proceso Hall-Héroult, existe unha AD con boas perspectivas e un TRL aceptábel. É a denominada tecnoloxía ELYSIS™, a cal está sendo desenvolvida polas multinacionais Alcoa e Rio Tinto (Elysis, n.d.). Esta tecnoloxía permite, ademais de incrementa-la eficiencia do proceso, elimina-lo 100% das emisións de CO₂ directas do proceso Hall-Héroult grazas á substitución dos ánodos de carbono por ánodos quimicamente estabéis durante o proceso, ánodos que serán patentados. Estes ánodos terían unha vida útil moito máis longa cós de carbono, non sendo necesario o seu reemplazo nun período de anos. Esta tecnoloxía podería tanto introducirse en fábricas xa en funcionamento coma instalarse en novas fábricas. O proceso de fabricación de ánodos en Aluminio Español deixaríase de realizar porque os seus substitutos estarán patentados, polo que en principio asúmese que a vía para facerse con eles sería a súa adquisición. Isto permitiría mitigar entón tamén as emisións de CO₂ da fabricación de ánodos de carbono neste complexo.

A maiores dos beneficios conseguidos con esta AD, poderíanse lograr pequenos aforros enerxéticos reducindo a temperatura do electrolito das cubas, aínda que cun pequeno custo económico (sobre 75 €/t) (Chan, Y. et al., 2019, p.

96). En Alu Ibérica a temperatura actual é de aproximadamente 950 °C (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, 2020h, p. 11).

Para os procesos de fundición que teñen lugar en Aluminio Español e Alu Ibérica propónse a substitución dos actuais fornos de fundición por sistemas de quecemento magnético (Bublík, 2010). Esta tecnoloxía permite un calentamento altamente eficiente (superior ao 80%) do metal e a mitigación do 100% das emisións directas, xa que usa electricidade. O resto de procesos de combustión en Alu Ibérica deberán electrificarse (Wyns & Khandekar, 2019, p. 55) para eliminar as súas emisións directas; en Aluminio Español o resto de emisións de combustión evítanse deixando de fabricar ánodos de carbono.

En canto á fabricación de aluminio secundario, un aspecto chave é a rendibilidade económica das técnicas de clasificación de metal reciclado: un custo competitivo deste proceso de clasificación actuaría como incentivo para aumentar a produción secundaria, en detrimento da exportación de chatarra a países con custos baixos. A tecnoloxía espectroscopia de descomposición inducida por láser semella ser a máis interesante, a cal consegue ademais aforros enerxéticos notables (de máis do 12%) e melloras na calidade do produto (Chan, Y. et al., 2019, pp. 97-98; Wyns & Khandekar, 2019, p. 59).

Por último, cabe mencionar unha estratexia para aumentar a eficiencia enerxética da produción de aluminio dende un enfoque de ciclo de vida. Esta consiste na integración de pequenas fábricas de laminados nas plantas de aluminio; neste caso sería na planta de Aluminio Español, xa que Alu Ibérica xa conta con unha. Estas pequenas fábricas permitirían colar e laminar o aluminio *in situ*, sen necesidade de transportalo a outros centros de produción e proceder ao seu aserrado, triturado, quecemento e prelaminado previos ao laminado. Todos estes procesos aforraríanse, co conseguinte aumento na eficiencia enerxética (Chan, Y. et al., 2019, pp. 86, 98; SMS-Group, 2018). Iso si, esta estratexia non reduciría as emisións na planta de produción de aluminio en Galicia: esta estratexia enténdese no conxunto do ciclo produtivo do aluminio, máis alá da fabricación e expedición de lingotes sen laminar.

Os requerimentos materiais son aluminio reciclado posconsumo, para transitar da ruta primaria cara a secundaria, e ánodos inertes, para implanta-la tecnoloxía ELYSIS™. Os requerimentos enerxéticos son electricidade para a xeración de vapor, o quecemento magnético e o quecemento de fluído térmico; e hidróxeno ou biogás para a calcinación.

As necesidades de I+D de este sector non son elevadas. As dúas principais estratexias para a súa descarbonización xa están funcionando correctamente no mercado ou espérase que entren nel para 2024 (produción de aluminio secundario e tecnoloxía ELYSIS™, respectivamente) (Elysis, n.d.). A tecnoloxía espectroscopia de descomposición inducida por láser, proposta para a eficiente clasificación da materia prima reciclada, require máis desenvolvemento: ser demostrada en entorno relevante e real, ser certificada e probada con éxito en entorno real. Actualmente presenta un TRL de cinco. A redución da temperatura do electrolito das cubas do proceso Hall-Héroult ten un TRL de sete: require ser certificada a través de probas e demostracións e ser probada con éxito en entorno real (Chan, Y. et al., 2019, pp. 96-98). En canto ás pequenas fábricas de laminados, teñen un TRL de seis, polo que requiren maior desenvolvemento.

7.3.12. Outros metais non férreos: industria do silicio.

A industria de produción doutros metais non férreos (CNAE 24.45) en Galicia conta cun só complexo industrial: Ferroatlántica de Sabón S.L.U. (en adiante, Ferroatlántica de Sabón), pertencente á empresa matriz do mesmo nome (Rexistro PRTR-España, 2020a).

Estrutura produtiva e emisións

Ferroatlántica de Sabón produce silicio (Si) e ferrosilicio (FeSi) como produtos principais, fume de sílice (microsílice) como subproduto principal e silicio de baixa lei como subproduto secundario. Os seus niveis de produción víronse negativamente afectados pola crise económica da COVID-19, diminuíndo a produción de silicio, e espéranse que sigan sendo condicionados por esta crise.

Estes produtos obtéñense en Ferroatlántica de Sabón mediante a redución de cuarzo a través dunha secuencia de reaccións químicas nas que participaron hulla, coque metalúrxico, madeira e carbón vexetal como axentes redutores entre 2015 e 2019. A redución do cuarzo prodúcese en fornos eléctricos de arco sumerxido en medio acuoso, nos cales se alcanzan temperaturas superiores a 2700°C. Este proceso produtivo é idéntico a o que ten lugar en XEAL, con tres excepcións: (1) en XEAL Cee o ferrosilicio colado deposítase non só en bolsas denominadas “eras”, senón tamén (alternativamente) en lingoteiras (no caso do forno H12), (2) en XEAL Dumbría o ferrosilicio recibe un tratamento adicional cando se requiren calidades distintas á estándar e (3) o coque empregado como redutor en XEAL é de petróleo, non metalúrxico.

Ferroatlántica de Sabón emitiu 186,60 ktCO₂eq/ano entre 2015 e 2019 excluindo as emisións bioxénicas. O 100% delas foron CO₂ e a maioría delas de proceso na reacción de redución do cuarzo. Aínda que se empregan tres fornos nos que se alcanzan temperaturas moi elevadas (superiores a 2700°C), ao ser eléctricos non xeran emisións de combustión. As emisións de combustión producíronse na combustión de propano e gas natural. Estas representan menos do 0,5% das emisións de CO₂ totais do complexo.

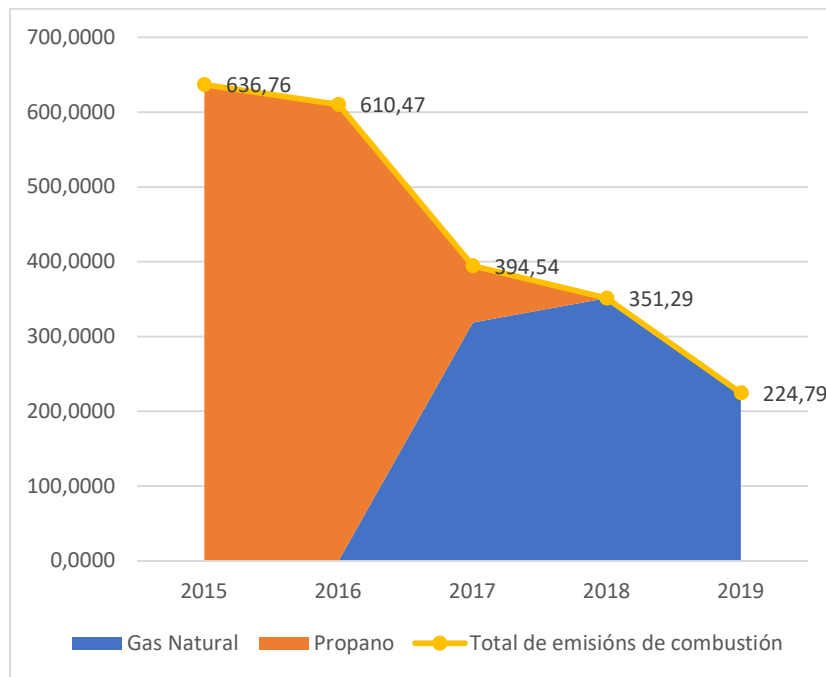


Gráfico 24: Emisións de combustión totais e por fonte. Ferroatlántica de Sabón SLU, 2015-2019 (tCO₂). Elaboración propia en base a datos suministrados polo propio complexo.

As emisións de proceso son tanto de orixe fósil coma bioxénico e débense principalmente á liberación ao carbono dos axentes redutores (91,70% sobre o total de emisións de proceso). Non obstante, non se deben desprecia-las emisións procedentes da pasta dos electrodos que interveñen no proceso hidrometalúrxico (6,87%)⁹⁵. Os electrodos de grafito foron responsabeis do 1,14% das emisións de proceso do complexo. As emisións procedentes do carbono liberado polos fundentes e o aportador de ferro (este último só na fabricación de ferrosilicio) é case inapreciábel en comparación coas outras dúas materias primas (0,27% e 0,01%, respectivamente). Á participación dos axentes redutores nas emisións de proceso de orixe fósil correspondentes é a seguinte en comparación co seu subtotal: en primeiro lugar a hulla co 97,01% e en segundo lugar o coque metalúrxico, co 2,99%.

⁹⁵ Pese a que o complexo industrial as considera de orixe fósil, non todas elas o son, pois un compoñente da pasta electrometalúrxica é a brea.

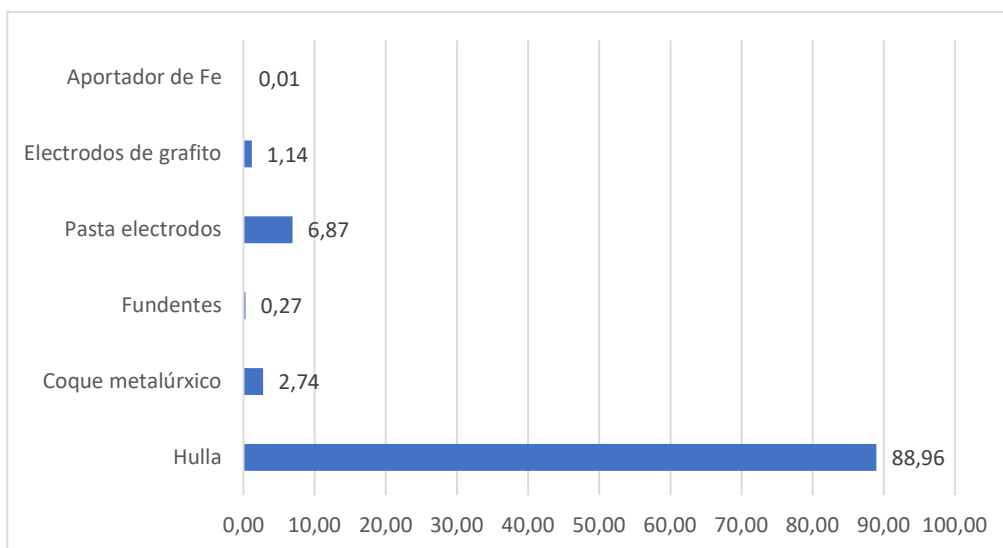


Gráfico 25: Emisións de CO₂ de proceso por fonte. Ferroatlántica de Sabón, 2015-2019 (%).
Elaboración propia en base a datos suministrados polo propio complexo industrial.

En canto á evolución temporal das emisións de CO₂ no complexo⁹⁶, cabe destacar que estas diminúen fortemente (un 48% con respecto a 2018) no último ano do período de análise pero a intensidade carbónica da produción non sofre cambios significativos, o que indica que a redución de emisións se produxo por reducións na produción material. A intensidade enerxética apenas sofre cambios entre 2015 e 2019.

Estratexia de descarbonización

O potencial de descarbonización nesta industria é de máis do 99%, o cal pode lograrse mediante a implementación de tres ADs: carbón renovábel, H₂ ou biogás e CCU. A primeira consiste no uso de carbón renovábel, por exemplo carbón vexetal ou madeira, como axente redutor do cuarzo. O seu uso sería non enerxético e substituiría aos materiais con contido en carbono de orixe fósil (hulla e coque metalúrxico) (Wyns et al., 2018a). A segunda AD consistiría na substitución do gas natural empregado como combustíbel no complexo por hidróxeno ou biogás, alternativa xa comentada en anteriores complexos. A terceira, CCU, consistiría na

⁹⁶ Non se inclúen as emisións de orixe bioxénico, que en Ferroatlántica de Sabón serían as procedentes da madeira e o carbón vexetal utilizados como insumos no proceso de redución do cuarzo.

captura do CO₂ emitido na redución do cuarzo e a súa utilización para a produción material noutras industrias ou sectores (Global CCS Institute, 2019; Wyns et al., 2018b; Wyns & Khandekar, 2019).

A alternativa chave é a primeira: carbón renovábel como axente redutor. Unha substitución do 100% do carbono fósil utilizado actualmente permitiría reducir as emisións de CO₂ do complexo industrial nun 91%. Maiores esforzos de mitigación poden levarse a cabo substituíndo o gas natural por hidróxeno ou biogás nos procesos de combustión, o cal evitaría o 0,36% das emisións totais⁹⁷. Con isto, PD xa sería superior ao 0,911 requerido para 2050. Máis accións de descarbonización poderían levarse a cabo utilizando pasta de electrodos e grafito sen carbono de orixe fósil.

Os requerimentos enerxéticos da descarbonización de Ferroatlántica de Sabón serían unicamente hidróxeno ou biogás para substituír ao gas natural, concretamente 2.977,99 GJ anuais para manter niveis de produción similares aos actuais.

Os requerimentos materiais son carbón vexetal e madeira para substituír aos axentes redutores de orixe fósil (hulla e coque metalúrxico), pasta electrometalúrxica libre de materiais fósiles⁹⁸ e un material alternativo ao grafito dos electrodos (de conseguir atopar un). As cantidades requeridas de carbón vexetal e madeira necesaria para descarboniza-la produción de silicio en máis do 90% mentres se mantén a produción anual actual poden obterse en base aos porcentaxes de auga e carbono que conteñen as masas de axente redutor en base húmeda e seca⁹⁹, respectivamente, e coñecendo a masa de carbono do axente redutor requerida para producir unha tonelada de silicio e ferrosilicio. Para este cálculo asúmense cinco escenarios de substitución dos axentes redutores: o escenario 1 asume 100% substitución por madeira; o 2, 75%; o 3, 50%; o 4, 25%, e

⁹⁷ Asúmese que a planta de Ferroatlántica decidiu substituí-lo propano por gas natural na combustión, dada a tendencia que se observa no seu consumo, reflexada nas emisións de combustión: consumo decrecente ata chegar a cero do propano e á inversa no gas natural.

⁹⁸ Por exemplo, esta podería conter, ademais de brea, coque de biopetróleo (en lugar de coque de petróleo) e idealmente algún material substitutivo da antracita.

⁹⁹ Tómanse os valores promedio do carbón vexetal utilizado no período de estudo (2015-2019).

o 5, 0%; sendo cubértalas fraccións restantes por carbón vexetal. Na táboa 10 amósanse os resultados en kilotoneladas de axente redutor en base húmeda; serían os requerimentos materiais anuais deste complexo industrial para implementa-la AD “Carbón renovábel como axente redutor” mantendo niveis de produción iguais aos do ano promedio entre 2015 e 2019.

Táboa 10: Requerimentos materiais anuais para Ferroatlántica de Sabón. AD "Carbón renovábel como axente redutor" (kt)					
Axente redutor	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Madeira	188,74	141,56	94,37	47,19	0,00
Carbón vexetal	0,00	35,50	70,99	106,49	141,98

Notas:

- Os valores están calculados para o ano promedio entre 2015 e 2019 en base á información subministrada polo propio complexo industrial.
- O escenario 1 asume 100% substitución por madeira; o 2, 75%; o 3, 50%; o 4, 25%, e o 5, 0%; sendo cubértalas fraccións restantes por carbón vexetal.

En canto aos requerimentos tecnolóxicos, máis do 90% das emisións deste complexo pódense mitigar en base a tecnoloxías xa dispoñíbeis: carbón renovábel como axente redutor e hidróxeno ou biogás en substitución de gas natural.

8. DISCUSIÓN DOS RESULTADOS: IMPLICACIÓNS ECONÓMICAS, SOCIAIS, AMBIENTAIS E POLÍTICAS DA ESTRATEXIA DE DESCARBONIZACIÓN.

A descarbonización da IIE galega en coherencia con 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas require profundas transformacións no modo en que se producen os materiais básicos en Galicia, así coma reducións nos niveis de

producción. Estas transformacións implican cambios nas fontes de enerxía e materias primas usadas por parte das industrias, certos cambios nos produtos finais e cambios nas tecnoloxías de produción. Como consecuencia, a descarbonización da IIE galega previsiblemente terá consecuencias económicas, sociais e ambientais tanto en Galicia coma en outras rexións e países. Nesta sección reflexiónase a nivel xeral e en termos cualitativos acerca destas posibles consecuencias en base á análise exhaustiva da senda de descarbonización formulada e en base a literatura científica que ten analizado previamente estas cuestións.

A maiores, indícanse as posibilidades futuras de ampliación deste proxecto de investigación, as cales se derivan das implicacións (económicas, sociais, ambientais, políticas) desta investigación. En xeral, as ampliacións futuras identificadas en base ás implicacións do proxecto consistirían na definición e determinación máis precisa destas implicacións a fin de poder: mitiga-los posibles efectos negativos (sociais, ambientais, económicos) da descarbonización, saca-lo máximo rendemento das oportunidades de desenvolvemento económico que se presentan e facilita-la implementación con éxito desta estratexia. As posibles ampliacións tamén se identifican na sección 9 en base ás limitacións do traballo.

8.1. IMPLICACIÓNS ECONÓMICAS

A senda de descarbonización formulada para a IIE galega establece unha transición do modelo produtivo industrial mediante dous tipos de transformacións no modelo produtivo industrial: reducións na produción material e cambios no modo en que se producen os materiais básicos¹⁰⁰. Ademais, estas transformacións produtivas teñen unha serie de demandas ou requerimentos para seren implementadas: materias primas, fontes de enerxía, coñecemento e tecnoloxías. Como consecuencia, a descarbonización das IIEs galegas involucra e afecta a axentes e actividades económicas alleos a estas industrias; é dicir, ten unha serie

¹⁰⁰ Ademais de materiais básicos, tamén nos estamos referindo aquí ao resto de materiais ou produtos froito de actividades secundarias nas IIEs obxecto de estudo. Para simplificar, utilízase a expresión “materiais básicos” para referirse a tódolos materiais que producen as IIEs.

de implicacións económicas que afectan tanto ás IIEs coma a outros sectores económicos, así coma ao consumidor final. Nesta sección analízase esta cuestión dende dous puntos de vista: axentes económicos e actividades económicas; ou dito doutro xeito: interdependencias entre axentes económicos e ameazas e oportunidades para o desenvolvemento económico en Galicia que previsibelmente xerará a descarbonización.

8.1.1. Axentes económicos implicados na descarbonización das IIEs.

Ademais das propias IIEs, outros axentes económicos veranse afectados pola senda de descarbonización formulada e facilitarán ou posibilitarán a transición das primeiras. Estas implicacións son de dous tipos: intersectorial e interterritorial. A continuación identifícanse os grandes grupos de axentes implicados e caracterízanse as relacións de interdependencia entre estes e as IIEs obxecto de estudo.

Perspectiva intersectorial

As implicacións intersectoriais poden ser clasificadas en cinco grupos en función da tipoloxía de axentes implicados: sectores produtivos situados cara atrás na cadea de valor, sectores produtivos situados cara adiante, sociedade civil, gobernos e o resto de actores do sistema de innovación (sistema educativo e de formación, sistema de I+D, sistema financeiro, infraestruturas tecnolóxicas e empresas de consultoría).

As implicacións intersectoriais en sectores situados cara atrás na cadea de valor afectan tanto aos sectores produtores das materias primas como dos recursos enerxéticos que usan as IIEs para produci-los materiais básicos correspondentes (por exemplo, carbón vexetal para a produción de silicio neutro en carbono ou biogás como fonte de enerxía para unha ampla variedade de procesos industriais).

O segundo grupo está formado por aqueles sectores ou axentes económicos que utilizan os materiais básicos e demais materiais producidos nas IIEs como materias primas no seu proceso produtivo. Estes sectores veríanse condicionados

polos cambios na produción material (en cantidade e calidade) destas industrias. Como exemplos se poden poñer os seguintes: a AD CCSC de cemento impediría producir formigón armado con aceiro, habería que produci-lo con fibra de carbono; o transporte tería que reducir gradualmente o consumo de produtos petrolíferos e cambiar esta por outras fontes de enerxía, e determinadas industrias¹⁰¹ deberían utiliza-lo CO₂ capturado con CCU nas IIEs como materia prima nos seus procesos produtivos.

En terceiro lugar, as implicacións intersectoriais da descarbonización das IIEs galegas non se reducen aos axentes económicos do lado da produción, senón que abarcan tamén o consumidor final, a sociedade civil. Veranse afectados todos aqueles consumidores finais que consumen ou fan uso tanto de bens coma de servizos que directa ou indirectamente utilizan os materiais básicos producidos polas IIEs galegas (por exemplo, produtos biopetrolíferos producidos na industria de refinación que propulsen o vehículo privado ou aluminio utilizado na fabricación de bicicletas).

En cuarto lugar, os gobernos son actores chave para facilitar e posibilita-la descarbonización en múltiples aspectos: estes teñen a capacidade de crear certos elementos estruturais que en moitos casos están fóra do alcance do resto de axentes económicos. É o caso, por exemplo, de instrumentos políticos e lexislativos que moldeen os mercados, infraestruturas que posibiliten as transformacións produtivas necesarias (gasodutos, redes eléctricas...), instrumentos financeiros que permitan cubrir parte dos requerimentos de capital das ADs, programas de formación de capital humano e instrumentos políticos que permitan planificar e coordinar aos distintos axentes económicos para satisfacer os requerimentos materiais, enerxéticos e tecnolóxicos das IIEs para a súa descarbonización.

Por último, os diferentes axentes económicos que completan o sistema de innovación (xunto cos gobernos e o tecido produtivo xa mencionados) xogan un papel chave dadas as dimensións da transformación produtiva que se necesita para

¹⁰¹ Esta non necesariamente sería unha implicación intersectorial: as propias IIEs poderían executar a fase de “utilización” do CO₂ capturado con CCU.

acadar sendas de redución de emisións coherentes con 1,5 °C. O sistema educativo e de formación contribúe a satisfacer as necesidades de coñecemento no capital humano nas industrias; o sistema de I+D, a satisfacer boa parte dos requerimentos tecnolóxicos indicados sectorialmente mediante o desenvolvemento das tecnoloxías correspondentes. O sistema financeiro xoga un papel chave dados os importantes requerimentos de capital para implementa-las distintas ADs. E as infraestruturas tecnolóxicas e as empresas de consultoría son importantes axentes para catalizar e facilita-lo desenvolvemento tecnolóxico e a innovación nas industrias.

As relacións de dependencia entre as IIEs e estes axentes económicos varía en función do axente considerado, aínda que en xeral os requerimentos tecnolóxicos, enerxéticos, materiais e de capital destas industrias (que en boa medida son indicados neste traballo) condicionan e determinan unilateralmente o comportamento do resto de axentes económicos: o goberno, as universidades, os sectores produtivos situados cara atrás nas cadeas de valor correspondentes e o resto de actores do sistema de innovación deben traballar para facilitar e posibilita-la descarbonización das IIEs. No caso da sociedade civil e os sectores económicos situados cara adiante nas cadeas de valor correspondentes podería suceder á inversa: as demandas destes axentes podería obstaculiza-la transición das IIEs. O máis razoable nestes dous grupos é asumir que a relación predominante é de interdependencia: que as transformacións propostas nas IIEs galegas condicionarían e estarían condicionadas polo comportamento tanto dos sectores situados cara adiante coma da sociedade civil.

Estas implicacións intersectoriais no tecido produtivo xerarán previsibelmente unha serie de oportunidades e ameazas para o desenvolvemento económico en Galicia. A continuación procédese a unha análise a nivel xeral e cualitativo desta cuestión.

Perspectiva interterritorial

As implicacións económicas intersectoriais descritas non se limitan ao territorio no cal se dá a transición das IIEs, neste caso Galicia, senón que afectan

tamén a outras rexións e países. No caso dos sectores produtivos, isto ocorre na medida en que neles existen encadeamentos produtivos coas IIEs galegas, xa sexan cara adiante ou cara atrás; no caso do resto da sociedade civil, na medida en que consumen bens ou servizos que directa ou indirectamente empregan materiais básicos producidos en Galicia. O resto de axentes mencionados na subsección anterior (governos e resto de actores do sistema de innovación: sistema educativo e de formación, sistema de I+D, sistema financeiro, infraestruturas tecnolóxicas e empresas de consultoría) poden verse afectados tamén interterritorialmente, mais estímase que en menor medida; pois, por un lado, o sistema de innovación ten en boa medida carácter rexional e por outro, o goberno que principalmente debe apoiar e promove-la descarbonización da IIE galega máis alá da limitada ambición climática coa que contan os marcos políticos existentes en España e na Unión Europea¹⁰² é o galego.

8.1.2. Ameazas e oportunidades para o desenvolvemento económico en Galicia.

As transformacións produtivas nas IIEs galegas propostas na senda de descarbonización previsibelmente terán implicacións en termos de desenvolvemento económico para Galicia por dúas vías: cambios nos niveis de produción de materiais básicos e cambios no modo de producilos.

Os cambios no modo de produción das IIEs galegas vén marcado polas ADs contidas na estratexia. Unha gran parte destas está baseada en tecnoloxías que todavía non están no mercado, é dicir, terán que producirse numerosas innovacións nos procesos produtivos; noutros casos as ADs están baseadas en técnicas xa dispoñíbeis. En ambos casos, determinadas formas de produción eliminaranse ou transformaranse ao mesmo tempo que novas formas de produción se instaurarán progresivamente na IIE galega. Isto xerará previsibelmente dinámicas de destrución creativa: destruírase (en graos variabeis) actividade económica asociada a formas

¹⁰² Estes marcos políticos a favor da descarbonización da economía en España e na Unión Europea recóllense resumidamente na sección 4.1.

de produción que progresivamente queden desfasados (as “ameazas”) e xerárase nova ou maior actividade económica vinculada a novas formas de produción ou a formas de produción actuais que sufran unha expansión (as “oportunidades”).

Este escenario abre un campo de investigación en base á determinación precisa das ameazas e oportunidades que poden xurdir coa descarbonización. Algunhas preguntas que requiren resposta son: en que medida a descarbonización das IIEs galegas en liña con 1,5 °C sen tecnoloxías de emisións negativas nin CCS supón unha ameaza para a actividade económica en Galicia? Que sectores poden verse afectados? Como se poden minimiza-los danos? Por outra banda, en que medida a descarbonización supón unha oportunidade para o desenvolvemento económico en Galicia? Como se poden aproveitar de mellor modo estas oportunidades? Etc. Algunhas destas preguntas xa teñen sido abordadas en maior ou menor medida recentemente; por exemplo, as potencialidades de Galicia na produción enerxética renovábel e/ou a súa posíbel contribución ao desenvolvemento económico é un campo que ten sido moi frutífero nos últimos lustros ¹⁰³. Máis proxectos e liñas de investigación son pertinentes arredor destas cuestións.

A continuación realízase unha breve análise cualitativa e xenérica na que se visualizan as que poderían se-las principais ameazas e oportunidades que o proceso de descarbonización proposto na estratexia previsibelmente pode xerar para o desenvolvemento económico en Galicia, tanto nas propias ADs como consecuencia da súa descarbonización e da transición do conxunto na economía ou doutros sectores da economía nas industrias obxecto de estudo, coma noutros sectores económicos.

¹⁰³ Numerosos traballos téñense publicado nas dúas últimas décadas cubrindo a gran maioría destas fontes de enerxía: solar, eólica, biomasa, undimotriz, xeotérmica e biocombustibles (bioetanol, biogás e biodiésel). Algúns traballos a destacar son, en función da fonte de enerxía: (Doldán, 2010; Iglesias et al., 2009; González, Martín, Álvarez e Anido, 2010; Salvaço, Bernardino e Guedes Soares, 2014) sobre as enerxías mariñas, (Copena e Simón, 2018; Varela, 2016) sobre a eólica on-shore, (Fernández, 2007) sobre a solar, (Sanjurjo-Sánchez e Barrientos, 2018) sobre a xeotérmica ou (Soliño, Prada e Vázquez, 2009; Soto, 1999; Vega, 2011) sobre a biomasa e derivados da biomasa.

Oportunidades para o desenvolvemento económico.

Existen varios tipos de oportunidades de desenvolvemento económico a raíz da descarbonización da IIE galega. Por unha banda están as que teñen lugar nas propias ADs como consecuencia tanto da súa descarbonización coma da transición do resto da economía; por outra, as que se xeran en torno aos requerimentos enerxéticos, materiais e tecnolóxicos das ADs en sectores alleos ás IIEs. Nas IIEs o crecemento económico pode vir por dúas vías. Unha é o aumento da competitividade nun mercado que cada vez demande máis bens industriais producidos cunha baixa pegada de carbono. Esta cuestión é moi considerada por parte da Comisión Europea na súa estratexia de descarbonización a longo prazo; considérase coma unha das principais estratexias de crecemento económico para a Unión Europea nas próximas décadas. En especial, o papel de liderazgo no mercado mundial na produción de bens industriais e tecnoloxías baixas ou neutras en carbono é percibido como unha gran oportunidade de xerar riqueza e crecemento económico na Unión Europea (Comisión Europea, 2018a). Isto é aplicábel ao caso galego e ás industrias “tradicionalistas”: aceiro, aluminio, cemento..., as cales seguirían producindo a mesma tipoloxía de produtos pero neste caso cunha baixa pegada de carbono. A outra vía é o propio crecemento de actividades económicas relativamente novas (a diferenza das industrias tradicionalistas do caso anterior) que sexan demandadas nun modelo produtivo baixo en carbono. Como exemplo pódese poñer a industria de fabricación de biocombustibles (por exemplo, bioetanol), na cal hai dous complexos industriais en Galicia (sen contar a refinería de petróleo, que tamén podería actuar como tal nun futuro).

En canto ás oportunidades de desenvolvemento económico en sectores alleos ás IIEs, poderíanse estas clasificar en función de se consisten na produción de bens ou servizos. En termos xerais, os requerimentos tecnolóxicos semellan xerar unha maior demanda de servizos, por exemplo: intensivos en coñecemento, dada a gran necesidade de innovar para descarbonizar a produción. Respecto aos requerimentos enerxéticos e materiais, a súa principal sinerxia co desenvolvemento económico semella ser a demanda de bens (tanto enerxía coma materiais). Un punto de partida para identificar estas oportunidades podería ser a análise

cualitativa dos requerimentos enerxéticos e materiais que se desprenden da estratexia de descarbonización formulada e o seu contraste cos recursos naturais presentes en Galicia (forestais, enerxéticos, mariños...). Actividades económicas potencialmente xeradoras de riqueza en Galicia poderían se-la expansión da produción enerxética renovábel (a partir de enerxías mariñas, eólica on-shore, biomasa, enerxía xeotérmica...) e a produción de materias primas necesarias para a descarbonización (aluminio reciclado pos-consumo, carbón renovábel, macroalgas mariñas, bauxita...).

Ameazas ao desenvolvemento económico.

As ameazas da transición cara un modelo produtivo industrial sostíbel xa se están vendo na actualidade en Galicia. Un claro exemplo é a intención de peche da fábrica de Alcoa tralo encarecemento do prezo da electricidade. En xeral as ameazas ao desenvolvemento económico en Galicia previsíbeis coa descarbonización derívanse da redución da actividade económica na maioría das IIEs, motivada pola redución da produción material, e do abandono (total ou parcial) de fontes de enerxía e materias primas utilizadas para produci-los materiais básicos, o cal xerará efectos intersectoriais a través dos encadeamentos produtivos existentes entre as IIEs correspondentes e o resto de sectores da economía galega. Cabe neste sentido investigar en que medida as actividades económicas ameazadas poden reorientarse no novo escenario produtivo que xurdiría trala descarbonización.

8.2. IMPLICACIÓNS SOCIAIS

Ademais de considera-los posíbeis impactos económicos da descarbonización da IIE galega, convén considera-los posíbeis impactos sociais, que en parte veñen determinados polos primeiros pero non totalmente. A sociedade civil non vinculada laboralmente directa nin indirectamente ás IIEs pode tamén sufrir as consecuencias tanto da senda de descarbonización da IIE galega coma do escenario que subxace trala mesma. En primeiro lugar, os cambios tanto na cantidade coma na calidade dos materiais básicos producidos en Galicia afectará

previsiblemente á sociedade civil na medida en que é consumidora final destes materiais. Estes impactos deben entenderse a nivel suprarrexional, pois o usuario/a final de bens ou servizos que utilizan directa ou indirectamente materiais básicos non se limita nin moito menos á sociedade galega. Exemplos de posibles impactos sociais nestos termos son: encarecemento dos produtos (por exemplo debido a custos de operación crecentes) ou necesidade de cambio nos vehículos privados para adaptarse ás novas fontes de enerxía.

En canto ás implicacións sociais relativas aos escenarios socioeconómicos que subxacen trala senda de descarbonización, poden resumirse en cambios no comportamento do consumidor para adaptarse a (e posibilitar) os escenarios de desmaterialización, eficiencia material, economía circular e transición enerxética descritos en seccións anteriores.

En termos xerais e máis alá da senda de descarbonización para as IIEs galegas formulada, segundo Markkanen e Anger-Kraavi (2019) a transición cara unha economía baixa en carbono incrementa-las desigualdades socioeconómicas e a vulnerabilidade de determinados grupos sociais. Isto espérase que lle ocorra en maior medida á poboación en maior risco de exclusión social ou pobreza multidimensional e altamente exposta aos efectos do cambio climático. Para diminuír ou evitar isto, é necesario que unha diversidade de axentes económicos e sociais (incluíndo responsabeis políticos e sociedade civil) traballen conxuntamente para identificar posibles efectos negativos a nivel local, rexional e nacional. A intervención do sector público é esencial para minimiza-los impactos socioeconómicos negativos. Concretamente, é crucial que as políticas ou iniciativas públicas se elaboren e implementen de xeito socialmente inclusivo, así como é crucial procura-la diversificación da economía nos territorios nos que o emprego, os recursos locais e/ou os territorios¹⁰⁴ se vexan perxudicados a causa das actividades relacionadas coa transición.

¹⁰⁴ As consecuencias socioeconómicas de tipo territorial inclúen tanto perdas de emprego pola desaparición, transformación ou deslocalización de industrias; coma conflitos de distribución ecolóxica.

8.3. IMPLICACIÓNS AMBIENTAIS

As implicacións ambientais da senda global na que se enmarca a proposta para as IIE galegas son bastante modestas, como se indicou na subsección 5.1.2. Non obstante, posibles impactos ambientais, por exemplo en Galicia, deben ser advertidos con suficiente anticipación a fin de axusta-la senda de descarbonización aos límites biofísicos presentes no territorio galego. Algúns posibles impactos ecolóxicos que cabe investigar e prevenir derivaránse da expansión territorial da produción enerxética renovábel ou da deforestación requirida para a produción de biomasa (como insumo para a produción de enerxía renovábel ou de materias primas coma o carbón renovábel), xa sexa forestal ou agrícola. Traballos previos teñen identificado as consecuencias para o bosque galego do aumento da xeración eléctrica mediante centrais de biomasa (Copena, D. & Simón, 2014), mais como se demostrou neste traballo, nun escenario de descarbonización en liña con 1,5 °C e sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas este uso da biomasa é só un dos necesarios para esta transición.

Máis impactos ecolóxicos en Galicia, sobre todo de tipo “Conflito de distribución ecolóxica”, poderían vir da man do crecemento da actividade mineira para producir minerais necesarios neste contexto de transición tecno-económica. Estudos alertaban disto en 2013 (Gracia; Rodríguez).

Todo isto non só poderá ocorrer debido á transición industrial en Galicia, senón que pode ser ocasionado por transicións noutros territorios e países. Do mesmo xeito, isto pode ocorrer á inversa: cambios no modelo produtivo na industria en Galicia poden xerar externalidades ambientais negativas fóra das súas fronteiras.

8.4. IMPLICACIÓNS POLÍTICAS

8.4.1. A necesidade dun marco intersectorial e interterritorial. A senda LED como marco global.

Como se comentou na sección 8.1, a descarbonización das IIEs é fortemente dependente intersectorial e interterritorialmente. Esta interdependencia intersectorial e interterritorial precisa de enfoques e marcos políticos tamén intersectoriais e interterritoriais á hora de planificar e cataliza-la descarbonización. Efectivamente é útil unha estratexia de descarbonización de carácter unisectorial como a que se propuxo neste traballo, mais é igualmente necesaria a elaboración e implementación de estratexias noutros sectores e territorios que a complementen, de acordo coas necesidades identificadas nesta investigación e de acordo coa senda global de referencia: a senda LED. Isto se pode tamén considerar doutro xeito: é útil unha senda de descarbonización da economía global compatíbel con 1,5 °C (por exemplo, a senda LED) pero tamén son necesarias estratexias de alcance territorial como a que se formulou neste traballo.

Parte destas estratexias deberían construírse en base aos requerimentos intersectoriais que se desprenden da estratexia proposta neste traballo, sobre todo a provisión de materias primas e enerxía que previsibelmente serán demandadas polas IIEs para operar en condicións de cero ou baixas emisións carbónicas. Neste sentido, futuras liñas e proxectos de investigación poderían axudar a determinar estas estratexias intersectoriais complementarias para a descarbonización das IIEs. En relación ao alcance máis interterritorial e incluso global, xa existe unha senda ou estratexia de descarbonización que establece as bases para a transición sistémica: a senda LED. Por tanto, a estratexia presentada neste traballo é unha forma de concretar territorial e sectorialmente estoutra estratexia de alcance global; non se concibe como unha estratexia para descarbonizar unha economía rexional de forma illada con respecto ao resto de economías rexionais ou internacionais. A continuación realízanse varias consideracións en relación á pertinencia e utilidade de enfoques intersectoriais e interterritoriais para facilita-la implementación da estratexia para as IIEs galegas.

En primeiro lugar cabe facer referencia ao modelo de consumo. Asumindo que as relacións que existen entre a sociedade civil e as IIEs son de interdependencia, os cambios na produción de materiais básicos deben ir acompañados por cambios no modelo de consumo. Idealmente, o obxectivo a lograr sería mante-los niveis de satisfacción das necesidades da poboación cun menor consumo material per cápita e cunha transición nos produtos consumidos en liña coa transformación produtiva das IIEs¹⁰⁵. Isto requeriría a implementación de estratexias de eficiencia material, desmaterialización e economía circular, nas que o consumidor final ten un papel chave. Idealmente, débese promove-la satisfacción das necesidades da poboación cun menor consumo material per cápita, a optimización do uso dos bens e infraestruturas existentes e o aumento da reciclaxe, reutilización e recuperación de materiais, produtos e compoñentes. Exemplos de alternativas de desmaterialización da economía son os modelos de negocio baseados na economía colaborativa (coma os vehículos compartidos) ou os servizos públicos (por exemplo, o transporte público en detrimento do automóbil privado). Exemplos de estratexias de eficiencia material son: a extensión da vida útil dos produtos, a minimización das perdas nos procesos produtivos industriais, a reutilización de compoñentes no proceso de fabricación e a substitución material de produtos.

En relación ao resto de axentes económicos implicados na descarbonización das IIEs (que se describen na sección 8.1) e asumindo que existen tamén relacións de interdependencia, os resultados da investigación indican que a descarbonización da IIE galega é un proceso que debe ser coordinado e planificado intersectorialmente e con suficiente anticipación. Os distintos recursos (enerxía, materiais, coñecemento¹⁰⁶ e capital) deben ser desenvolto e postos a disposición da IIE galega a tempo para que se poidan cumpri-los obxectivos decenais de redución de emisións e para iso deben actuar unha diversidade de axentes

¹⁰⁵ A transición nos produtos consumidos refírese principalmente á redución gradual de materiais primarios (fabricados a partir de minerais) e ao aumento progresivo de materiais secundario (fabricados a partir de materia prima reciclada).

¹⁰⁶ Coñecemento tanto acerca de cada tecnoloxía de descarbonización coma coñecemento que deben posuír os recursos humanos de cada empresa para implementa-las ADs correspondentes.

económicos (dende empresas do sector forestal ata industrias de fornecemento de enerxía eléctrica). Esta anticipada planificación e coordinación permitiría ademais reduci-los problemas de subministro de recursos chave que poidan escasear.

Outro aspecto que cómpre ter en conta é que existe a posibilidade de que en determinadas industrias ou complexos industriais abordados neste traballo non se acade a descarbonización necesaria. Isto pode ocorrer por diferentes motivos, por exemplo, non se conseguiu desenvolver unha determinada tecnoloxía baixa en emisións ou non se conseguiron recursos económicos abondo para implementa-los cambios produtivos necesarios. De ocorrer isto, sería necesario incrementa-la ambición en outros sectores co fin de compensa-las emisións que se deixaron de mitigar. A coordinación e planificación intersectorial da descarbonización facilitaría a resolución deste problema.

8.4.2. A importancia dunha rápida acción: o aproveitamento dunha fiestra de oportunidade.

Por último, consideramos relevante destaca-la importancia dunha rápida acción, tendo en conta iso si tódolos condicionantes e limitantes de carácter intersectorial e interterritorial. A acción dos diferentes axentes implicados (descritos na subsección 8.1) debe comezar axiña por varios motivos. En primeiro lugar, polas elevadas esixencias da senda de descarbonización necesaria para cumprir cos obxectivos de mitigación establecidos. As transformacións produtivas máis profundas tardarán previsibelmente lustros ou décadas en producirse debido, fundamentalmente, a obstáculos de tipo tecnolóxico: parte das ADs contidas na estratexia requiren grandes esforzos e progresos para poder ser introducidas no mercado. E, en segundo lugar, a rápida actuación permitiría unha correcta e eficiente asignación dos fondos de recuperación da crise da COVID-19.

Por conseguinte, nos próximos meses e anos permanece aberta unha fiestra de oportunidade para marca-lo rumbo da descarbonización da economía nas próximas décadas. É certo que as emisións GEI xeradas pola economía galega son case insignificantes a nivel mundial, pero tamén é certo que Galicia e, en particular

a IIE galega, forman parte da causa dunha das maiores ameazas que enfrenta a civilización actual: o cambio climático. Por tanto, Galicia, como corresponsábel do quecemento global, debe cumprir coa súa parte da mitigación: unha ambiciosa senda de descarbonización (en liña con 1,5 °C sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas polos motivos indicados ao longo do traballo). A estratexia formulada neste traballo establece as bases para esta descarbonización na IIE galega.

Conclusións, limitacións e ampliacións

9. CONCLUSIÓN, LIMITACIÓN E AMPLIACIÓN

Como resultado desta investigación formulouse unha senda ou estratexia para a descarbonización da IIE galega en coherencia coa limitación do aumento da temperatura media superficial da Terra en 1,5°C con respecto a niveis preindustriais sen CCS nin tecnoloxías de emisións negativas. Esta é a primeira estratexia formulada para descarboniza-la industria galega en coherencia¹⁰⁷ co obxectivo climático de 1,5 °C e permite senta-las bases e establece-las directrices para a descarbonización das industrias intensivas enerxeticamente en coordinación coa senda global LED formulada por Grubler et al. (2018). Ademais, cuantificáronse as emisións na industria manufacturera ao nivel de desagregación divisións CNAE09, o que permite coñecer cal foi a distribución sectorial das emisións GEI nesta industria e, en especial, a importancia das IIEs no conxunto da industria

¹⁰⁷ A coherencia entre a estratexia e o obxectivo climático significa que a senda de redución de emisións proposta se axusta ao marcado por unha senda de mitigación global compatíbel con 1,5 °C: a senda LED.

manufactureira e da economía galega entre 2015 e 2019 en termos de contribución ao quecemento global. Esta é a análise máis completa das emisións GEI na industria manufactureira en Galicia na última década de acordo co sistema de contas nacionais de España a este nivel de desagregación sectorial da que temos coñecemento.

A senda formulada produto desta investigación construíuse a partir dun diagnóstico exhaustivo da estrutura produtiva e as emisións de CO₂ de 25 complexos industriais en Galicia pertencentes á IIE e definiuse rigurosamente en termos de obxectivos de redución de emisións, transformacións produtivas e requerimentos materiais, enerxéticos e tecnolóxicos para implementar ditas transformacións, con estas características sectorializadas por industria (clase CNAE09).

A senda de redución de emisións proposta, a ausencia de CCS e tecnoloxías de emisións negativas e os escenarios de transición enerxética e material da economía que subxacen trala estratexia están en consonancia coa senda LED. A senda formulada neste traballo supón, por tanto, unha definición e concreción sectorial e territorial da senda LED global: a senda de descarbonización proposta para a IIE galega está inserta nunha senda máis ampla, unha senda aplicada ao conxunto da economía global, e permite aterrizar sectorial (en determinadas IIEs) e territorialmente (en Galicia) esta senda global de referencia. Existe, por tanto, unha coordinación entre a traxectoria de descarbonización proposta para a IIE galega neste traballo e a traxectoria ou senda de descarbonización do conxunto da economía global: ambas perseguen os mesmos obxectivos climáticos, prescindendo determinadas tecnoloxías e están construídas en base escenarios de transición enerxética e material equivalentes.

A descarbonización da economía galega en coherencia con 1,5 °C, sen embargo, é un proceso moito máis amplo que a descarbonización das IIEs; estas industrias representan o 12,88% do total de emisións GEI en Galicia. Como consecuencia, a descarbonización do resto de sectores da economía en coherencia con este obxectivo climático debe ser tamén abordada de xeito exhaustivo en

futuras investigacións. Idealmente, isto debería facerse cun enfoque similar ao adoptado nesta investigación (o de emisións directas e tomando como referencia a senda LED) para unha maior complementariedade entre estratexias. Exemplos de sectores chave son as industrias de fornecemento de enerxía eléctrica e o transporte.

Existen unha serie de limitacións tanto na metodoloxía coma nos resultados desta investigación. Os catro tipos de limitacións que se teñen identificado refírense a: a representatividade do obxecto de estudo, o enfoque de emisións directas empregado, o escenario socioeconómico subxacente trala estratexia e a realización de estudos sectoriais de descarbonización. Nas dúas seguintes seccións desenvólvense máis en profundidade estas cuestións. As posibles investigacións e intervencións que poderían dar continuidade a este proxecto e fortalece-la estratexia de descarbonización formulada derívanse das implicacións económicas, sociais, ambientais e políticas sinaladas no apartado anterior e das limitacións sinaladas nestes. Indícanse a continuación, e súmanse ás xa sinaladas na sección anterior nos diferentes apartados.

9.1. REPRESENTATIVIDADE DO OBXECTO DE ESTUDO E OS DATOS DE EMISIÓNNS.

A estratexia de descarbonización formulada non abarca o 100% das IIEs galegas nin o 100% das emisións GEI nas IIEs obxecto de estudo. Si abarca, non obstante, a maioría de emisións e de complexos industriais e procesos produtivos das IIEs presentes en Galicia, tal e como se indica no marco metodolóxico.

A análise sectorial de emisións directas realizada na sección 7.1 presenta tamén limitacións. Estas derívanse do feito de que non existen datos públicos sobre o 100% de emisións GEI directas na industria manufacturera galega clasificadas por divisións CNAE09.

En canto ás emisións de CO₂ nos complexos industriais obxecto de estudo, existen tamén varias limitacións na súa cuantificación, a principal delas a pequena taxa de resposta da enquisa realizada. Outras limitacións que cabe sinalar son: a

dificultade para cuantificar determinadas emisións difusas, coma as do transporte, almacenamento e manipulación de materias primas; a insuficiente información remitida polos complexos en relación ás emisións da categoría CRF 2.D: “Produtos non enerxéticos e uso de disolventes”. A maiores, non sendo unha limitación neste caso, as emisións da categoría SNAP: “Maquinaria móbil industrial” non foron abordadas no traballo; non obstante, nos complexos que indicaron datos que as permiten calcular estas emisións representaban un porcentaxe moi pequeno (menos do 1%) do total de emisións dos mesmos.

Futuras investigacións poderían abordar estas cuestións centrándose nos complexos e emisións GEI non abordados neste traballo e tratando de ofrecer análises máis precisos sobre as emisións GEI nas distintas industrias manufactureiras galegas.

9.2. ENFOQUE DE EMISIÓN DIRECTAS

O enfoque de emisións directas utilizado ten limitacións á hora de considerar as interrelacións da descarbonización da economía entre sectores que cabe ter en conta. As máis salientables consisten en que poderían ser necesarios determinados cambios nas IIEs para descarbonizar outros sectores, cambios que non necesariamente están recollidos na estratexia aquí formulada. Esta cuestión non foi abordada de forma exhaustiva neste traballo; non obstante, en ocasións si se abordou incorporando as transformacións produtivas necesarias para descarbonizar outros sectores. Un exemplo é a transición da refinaría proposta para poder descarbonizar outros sectores, entre eles o transporte.

Futuras investigacións deberían abordar esta cuestión para unha maior precisión na determinación das traxectorias de descarbonización das IIEs. Para isto, investigacións con enfoques intersectoriais na análise das emisións (por exemplo, o enfoque do ciclo de vida) poderían levarse a cabo. A aplicación destoutros enfoques de análises de emisións permitiría captar-lo efecto de cambios endóxenos (nun determinado sector) con efectos exóxenos (noutros sectores) con maior facilidade có enfoque de emisións directas aplicado. Con igual resultado pero con

diferente metodoloxía poden plantexarse tamén investigacións que aborden a cuestión da descarbonización con enfoques directos de maneira semellante a este traballo, pero centrados en sectores situados cara atrás na cadea de valor das IIEs. É dicir, do mesmo xeito que neste traballo se identificaron necesarios cambios no modelo de consumo para a redución de enerxía e materiais nas IIEs, poden identificarse cambios no modelo produtivo das IIEs que permitan reducir enerxía e materiais en sectores situados cara atrás na cadea de valor, coma por exemplo a minaría que abastece a estas industrias.

9.3. ESCENARIO SOCIOECONÓMICO SUBXACENTE TRALA SENDA DE DESCARBONIZACIÓN

A senda de descarbonización para a IIE galega formulada constrúese en base a un determinado escenario socioeconómico, como se indica na subsección 7.2.1. Isto implica que esta senda é válida na medida en que ese escenario socioeconómico sucede nas próximas décadas.

9.4. ESTUDOS SECTORIAIS DE DESCARBONIZACIÓN.

Os estudos sectoriais víronse limitados por varios factores, tanto no diagnóstico da estrutura produtiva e as emisións como na formulación das estratexias sectoriais. A continuación indícanse os máis relevantes.

A limitada información proporcionada polos complexos industriais obxecto de estudo impediu unha cuantificación das emisións de GEI por proceso produtivo e dos requerimentos materiais e enerxéticos derivados das ADs propostas en moitas industrias; descoñécese se os motivos desta opacidade foron falta de tempo ou falta de vontade por parte das empresas. Isto pode supoñer un obstáculo para a determinación dos requerimentos enerxéticos e materiais da descarbonización da industria galega en futuras investigacións e, en último termo, un obstáculo á implementación eficaz e eficiente dunha senda de descarbonización coherente con 1,5 °C para as IIEs. Non se puido coñecer tampouco en que medida a crise

económica da COVID-19 se prevé que afecte ás IIEs obxecto de estudo na gran maioría dos casos. Arguméntase, por tanto, que unha estreita colaboración entre academia e industria é necesaria para a planificación da transición do modelo produtivo industrial en Galicia e que a colaboración da industria debe ser promovida ou garantizada mediante a intervención do sector público.

Outras limitacións metodolóxicas nas análises sectoriais refírense ao cálculo do potencial de descarbonización os coeficientes de transición material e enerxética e o factor de mitigación. En canto ás limitacións de tipo enerxético, baséanse na hipótese de que se desprecian as variacións no rendemento enerxético da combustión no cambio de fonte de enerxía, tanto para outros combustíbeis como para enerxía eléctrica. Sen embargo, nalgúns casos de substitución de fontes de enerxía (por exemplo, na substitución de gas natural por hidróxeno), existirían variacións no rendemento enerxético do proceso que poderían chegar a ser apreciabeis debido a este cambio de fonte de enerxía. Isto, sen embargo, non se ten en conta neste traballo. Asíumese por tanto neses casos un $FEE_{i,AD,p}$ igual a cero a efectos de simplificación metodolóxica.

As limitacións na cuantificación da produción material esperada a longo prazo en cada industria (CTM_i) derívanse das hipóteses adoptadas para o cálculo de CTM_i , as cales se detallan no anexo V. As principais son: (1) aplícanse proxeccións de produción ou demanda material da Unión Europea para o caso galego (non hai proxeccións dispoñíbeis para Galicia); (2) adóptanse multiplicadores de desmaterialización e eficiencia material propostos na senda LED relativos ao conxunto da economía mundial; (3) asíumese que o petróleo que entrará en Repsol Coruña será cru e que o seu contido enerxético non variará e (4) asíumese que a produción de enerxía líquida secundaria da biomasa na industria global de refino de petróleo será o 15,4% da producida globalmente.

Por último, cabe destaca-lo feito de que nesta estratexia non se realiza unha análise decenal do potencial de descarbonización de cada industria debido á insuficiente información relativa ao período que comprende entre 2020 e 2050. Sen embargo, o grao decenal de descarbonización neste período é importante, posto

que se debe cumprir cos obxectivos decenais de redución de emisións. Noutros casos non se puido sequer calcula-lo potencial de descarbonización (concretamente na industria do cemento e na de pasta papeleira) por falta de información para calcula-lo factor de mitigación.

Estes elementos (CTM, CTE, FM e PD) deben tratar de ser determinados con maior precisión en futuras investigacións para dotar dunha maior precisión a nivel cuantitativo á senda de descarbonización formulada e facilita-la súa implementación con éxito. Unha precisa determinación dos requerimentos enerxéticos e materiais (e tecnolóxicos) das alternativas de descarbonización é fundamental para a súa correcta satisfacción, tanto en tempo coma en forma coma en cantidade. En primeiro lugar, a produción da enerxía, materiais e coñecemento necesarios para a transición industrial é un proceso que pode levar tempo, sen embargo o tempo para reduci-las emisións GEI é escaso. En segundo lugar, existen determinados recursos que poden escasear. Un exemplo claro é a biomasa, un recurso básico para varias ADs; por exemplo, carbón renovábel como axente redutor na fabricación de silicio, ferrosilicio e silicomanganeso, ou a AD LHT, que permitiría producir biopetróleo na industria de refinación. Esta dispoñibilidade ou non de recursos e o seu prezo é un factor que pode en si mesmo podería condiciona-la selección de ADs. Por exemplo, a industria de fabricación de pasta papeleira (complexo industrial Ence Pontevedra) podería deixar de emprega-la súa biomasa para xerar vapor e electricidade en virtude de que esta se utilice para xerar outros recursos máis necesitados (por exemplo, biopetróleo ou carbón vexetal) e utilizar como fonte de enerxía electricidade procedente doutras fontes de enerxía (por exemplo, eólica mariña). Futuras investigacións deberían, por tanto, abordar estas cuestións, tratando de ofrecer estimacións de demanda material e enerxética máis precisas e comparándoas, por exemplo, coas potenciais capacidades de Galicia na produción dos correspondentes recursos.

Agradecementos

Desexo expresa-lo meu agradecemento ás empresas que participaron na investigación respondendo ao cuestionario, especialmente ás persoas responsabeis de cubrilo. Asimesmo, agradezo ao director do Departamento de Economía Aplicada, Edelmiro López Iglesias, e ao decano da Facultade de Ciencias Económicas e Empresariais da USC, Xoán Ramón Doldán García, o seu respaldo por escrito a este proxecto; respaldo que me facilitou moito o acceso á información que remitiron as empresas en resposta ao cuestionario.

Bibliografía

- AENOR Internacional S.A. (2020). *Declaración ambiental de producto: Productos largos de acero no aleado para construcción laminados en caliente procedentes de horno eléctrico: Barras corrugadas*
- Akimoto, K., Sano, F., & Tomoda, T. (2018). GHG emission pathways until 2300 for the 1.5 C temperature rise target and the mitigation costs achieving the pathways. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(6), 839-852.
- Allwood, J. M., & Cullen, J. M. (2012). *Sustainable materials: With both eyes open*. Cambridge, Reino Unido: Citeseer.

Antonio, J., & Garabatos, M. D. (2011). A codigestión anaerobia como sistema de produción de enerxía a partir de residuos. *Adega Cadernos*, (21), 23-38. Retrieved from http://adega.gal/web/media/documentos/Caderno_21_pax_23-38.pdf

Axencia Europea do Medio Ambiente. (1996). Corinair. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/corinair>

Axencia Europea do Medio Ambiente. (2016). Acerca del cambio climático. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/es/themes/climate/about-climate-change>

Axencia Galega de Innovación. (2014). *Estratexia de especialización intelixente de Galicia*. (). Retrieved from <http://www.ris3galicia.es/wp-content/uploads/2015/09/ESTRATEGIA- REGIONAL RIS3 GALICIA.pdf>

Axencia Internacional da Enerxía. (2016). *World energy outlook 2016*. (). París, Francia: Retrieved from <https://webstore.iea.org/download/direct/202>

Axencia Internacional da Enerxía. (2020a). *Energy technology perspectives 2020*. (). París, Francia: Retrieved from www.iea.org/statistics, todos los derechos reservados

Axencia Internacional da Enerxía. (2020b). Sustainable development scenario. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/sustainable-development-scenario>

Bauer, N., Rose, S. K., Fujimori, S., Van Vuuren, D. P., Weyant, J., Wise, M., . . .

Kato, E. (2018). Global energy sector emission reductions and bioenergy use: Overview of the bioenergy demand phase of the EMF-33 model comparison. *Climatic Change*, , 1-16.

Bazzanella, A., & Ausfelder, F. (2017). *Low carbon energy and feedstock for the european chemical industry*. (). Frankfurt, Alemaña: Retrieved from https://dechema.de/dechema_media/Technology_s_tudy_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry-p-20002750.pdf

Belghazi, A., Cohen, A., De Decker, P., Mazaira, D., Pope, M., Taarneby Gotteberg, B., . . . Yugo, M. (2018). *Low carbon pathways CO2 efficiency in the EU refining system. 2030 / 2050. executive summary*. (). Bruxelas, Bélxica: Retrieved from https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2018/04/Rpt_18-7.pdf

Bertram, C., Luderer, G., Popp, A., Minx, J. C., Lamb, W. F., Stevanović, M., . . . Kriegler, E. (2018). Targeted policies can compensate most of the increased sustainability risks in 1.5 C mitigation scenarios. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064038.

Biegert, C., Hamm, H., Hermeyer, G., Kriener, M., Küpler, M., LaDuke, W., . . . Snyder, S. (2020). *Uranium atlas. facts and data about the raw material of the atomic age*. (). Retrieved from https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/sonst_publicationen/UraniumAtlas_2020_web2.pdf

Biofuel Watch. (n.d., n.d.). Resources on biomass. Retrieved from <https://www.biofuelwatch.org.uk/biomass-resources/resources-on-biomass/>

Blackford, J., Stahl, H., Bull, J. M., Bergès, B. J., Cevatoglu, M., Lichtschlag, A., . . . Long, D. (2014). Detection and impacts of leakage from sub-seafloor deep geological carbon dioxide storage. *Nature Climate Change*, 4(11), 1011-1016.

BOE (2007), Real decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas.

BOE (2013), Real decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, (2013).

Boletín Oficial de las Cortes Generales. (2020). *Proyecto de ley de cambio climático y transición energética*

Bruyn, S. D., Jongsma, C., Kampman, B., Görlach, B., & Jan-Erik Thie. (2020). *Energy-intensive industries: Challenges and opportunities in energy transition*. (). Luxemburgo: European Parliament. doi:10.13140/rg.2.2.34247.52649
Retrieved from <https://search.datacite.org/works/10.13140/rg.2.2.34247.52649>

Bublík, J. (2010). *Magnetic heating of billets*. (). University of West Bohemia. Faculty of electrical engineering. Department of electrical power engineering and environmental engineering. Retrieved from <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/22554/1/Bublik.pdf>

Building Research Establishment Ltd. (2019). *Environmental product declaration: Megasa siderúrgica S.L.*

Bureau van Dijk. (2014). SABI: Sistema de análisis de balances ibéricos [base de datos]. Retrieved from <https://sabi.bvdinfo.com/home.serv?product=sabineo&loginfromcontext=ipaddress>

Bureau Veritas Iberia, S. L. (2017). *Certificación: Megasa siderúrgica S.L.* Alcobendas, España:

Camina, Á. (2012). Bat fatalities at wind farms in northern Spain—lessons to be learned. *Acta Chiropterologica*, 14(1), 205-212.

Capellán-Pérez, I., de Blas, I., Nieto, J., de Castro, C., Miguel, L. J., Mediavilla, M., . . . Cáceres, S. (2017). *Global model: MEDEAS-world model and IOA implementation at global geographical level.* (). Retrieved from <https://www.medeas.eu/system/files/documentation/files/Deliverable%204.1%20%28D13%29%20Global%20Model.pdf>

Carras, J. N., Franklin, P. M., Hu, Y., Singh, A. K., Tailakov, O. V., Picard, D., . . . Yesserkepova, I. (2006). Capítulo 4: Emisiones fugitivas. In S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. volumen 2: Energía* (). Hayama, Japón: Institute for Global Environmental Strategies.

Cementos Tudela Veguín. (n.d.). Planta de molinenda de narón. Retrieved from

<http://www.cementostudelaveguin.com/instalaciones.php?tipo=1&lugar=Nar%26oacute%3Bn>

CEPI. (2013). *The two team project*. (). Bruxelas, Bélxica: Retrieved from

https://www.pita.org.uk/images/PDF/CEPI_Two_Teams_Project_Report.pdf

Chan, Y., Petithuguenin, L., Fleiter, T., Herbst, A., Arens, M., & Stevenson, P.

(2019). *Industrial innovation: Pathways to deep decarbonisation of industry. part*

1: Technology analysis. (). Retrieved from

https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2050/docs/industrial_innovation_part_1_en.pdf

Chan, Y., Kantamaneni, R., & Allington, M. (2015). *Study on energy efficiency and*

energy saving potential in industry and on possible policy mechanisms. ().

Londres, Reino Unido:

Climate & Strategy Partners. (2017). *Summary report: Finance for innovation:*

Towards the ETS

innovation fund. (). Retrieved from

https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/events/docs/0115/20170612_report_en.pdf

Comisión Europea. (2018a). *In-depth analysis in support on the COM(2018) 773: A*

clean planet for all - A european strategic long-term vision for a prosperous,

modern, competitive and climate neutral economy. (). Bruxelas: Retrieved from

https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analyses_in_support_en_0.pdf

Comisión Europea. (2018b). *Un planeta limpio para todos la visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra.* (). Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>

Comisión Europea. (2018c). *Un planeta limpio para todos. la visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra.* (). Bruxelas, Bélxica: Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>

Comisión Europea. (2020). European climate law. Retrieved from https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law_en#:~:text=With%20the%20European%20Climate%20Law,greenhouse%20gas%20emissions%20by%202050.&text=By%20September%202023%2C%20and%20every,and%20the%202030%2D2050%20trajectory.

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2008a). *Autorización ambiental integrada para unha fábrica de produtos cerámicos para a construción situada no concello de salvaterra do miño (pontevedra). titular: Cerámicas del miño, carmen ubeira y cia, S.L. clave: 2006/0166_NAA/IPPC.* ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=27362

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2008b). *Autorización ambiental integrada para unha fábrica de produtos cerámicos para a construción, situada no concello da merca (ourense). titular: Cerámica la manchica, S.A. clave: 2006/0338_NAA/IPPC*. (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=21628

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2008c). *Autorización ambiental integrada para unha fábrica produtos cerámicos, situada no concello de sanxenxo (pontevedra). titular: Nueva cerámica campo, S.L. clave:*

2006/0363_NAA/IPPC. (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=17006

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2009). *Autorización ambiental integrada para unha fábrica de gres extruído natural, situada no concello de tui (pontevedra). titular: Cerámica da moura, S.L. clave: 2007/0278_NAA/IPPC. ()*. Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=42406

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2010). *Resolución de renovación da autorización ambiental integrada. air liquide iberica de gases, S.L.U. - planta de produción de hidróxeno, vapor e anhídrido carbónico situada no concello de arteixo (A coruña). Clave: 2009/1002_NAA/IPPC. ()*. Santiago de

Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46476

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2011). *Resolución de actualización, modificación, por modificación non substancial, e transmisión da AAI*

specialty marine products and ventures S.L. (). Santiago de Compostela,

España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=9785

specialty marine products and ventures S.L. (). Santiago de Compostela,

España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=9785

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2012). *Renovación da autorización ambiental integrada- fábrica de etanol en curtis, A coruña-bioetanol galicia, SA.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from

https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=8891

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2013a). *Renovación da autorización ambiental integrada dunha planta siderúrxica en narón. megasa siderúrgica, S.L.. 2012-IPPC-M-69.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=34708

https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=34708

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2013b). *Resolución de 7 de maio de 2013, da secretaría xeral de calidade e avaliación ambiental, pola que se renova a autorización ambiental integrada outorgada a alumina española, SA para a planta de alumina localizada nos concellos de xove e cervo*

(lugo). (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=47885

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2014a). *Modificación da autorización ambiental integrada dunha de produción de hidróxeno air liquide ibérica de gases, SLU. 2003/0175_AIA/IPPC_002*. (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46482

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2014b). *Resolución de 27 de outubro de 2014, da secretaría xeral de calidade e avaliación ambiental, pola que se modifica, por modificación non substancial, a autorización*

ambiental integrada outorgada a alúmina española, SA para a planta de alumina e as súas instalacións auxiliares, localizadas nos concellos de xove e cervo (lugo). n°

autorización: 2006/0184_ NAA/IPPC_131. (). Santiago de Compostela, España:

Retrieved from [https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=47889)

[integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=47889](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=47889)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2015). *Resolución de 15.10.2015 da secretaría xeral de calidade e avaliación ambiental, pola que se outorga a autorización ambiental integrada a MASOL IBERIA BIOFUEL, SLU, para unha planta de produción e almacenamento de biodiésel, glicerina, ácidos graxos e gomas, a partir de aceites vexetais, situada no porto exterior de ferrol, cabo prioriño chico, concello de ferrol (A coruña). (). Santiago de Compostela, España:* Retrieved from [https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage)

[integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage)

[&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=39430](#)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2017). *Resolución da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático pola que se modifica e se refunde a autorización ambiental integrada núm. 2006/0349_NAA/IPPC_168.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46945

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2018a). *Resolución, da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático, pola que se revisa a autorización ambiental integrada núm. 2004/0286_NAA/IPPC_162.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46945

[2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46145](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46145)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2018b). *Resolución, da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático, pola que se revisa a autorización ambiental integrada núm. 2005/0180_NAA/IPPC_016.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from [https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46986)

[integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage &p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46986](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46986)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2019a). *Resolución da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático pola que se modifica a autorización ambiental integrada co núm. 2005/0180_NAA/IPPC_016.* ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from [https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage &p_p_col_id=column-](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46986)

[2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46986)

[descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda
& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46987](#)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2019b). *Resolución, da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático, pola que se modifica a autorización ambiental integrada núm. 2004/0286_NAA/IPPC_162.* ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from

https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46147

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2019c). *Resolución, da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático, pola que se modifica a autorización ambiental integrada núm. 2006/0349_NAA/IPPC_168.* ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from

https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=

[descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda
& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46946](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p=id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46946)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020a). *Resolución da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático pola que se modifica a autorización ambiental integrada co núm. 2005/0180_NAA/IPPC_016*. ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from

[https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p=id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p=lifecycle=2&p_p=state=normal&p_p=mode=view&p_p=cacheability=cacheLevelPage&p_p=col_id=column-2&p_p=col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46990](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p=id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p=lifecycle=2&p_p=state=normal&p_p=mode=view&p_p=cacheability=cacheLevelPage&p_p=col_id=column-2&p_p=col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46990)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020b). *Resolución da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático pola que se modifica a autorización ambiental integrada co núm. 2005/0180_NAA/IPPC_016*. ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from

[https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p=id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p=lifecycle=2&p_p=state=normal&p_p=mode=view&p_p=cacheability=cacheLevelPage&p_p=col_id=column-2&p_p=col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46990](https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p=id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p=lifecycle=2&p_p=state=normal&p_p=mode=view&p_p=cacheability=cacheLevelPage&p_p=col_id=column-2&p_p=col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=46990)

[descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda
& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46989](#)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020c). *Resolución da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático pola que se modifica a autorización ambiental integrada co núm. 2005/0180_NAA/IPPC_016*. ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from

https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=46988

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020d). *Resolución da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático pola que se modifica a autorización ambiental integrada número de rexistro: 2015-IPPC-I-6*. ().

Santiago de Compostela, España: Retrieved from

https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=

[descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda
& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=49576](#)

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020e). *Resolución da dirección xeral de calidade ambiental, sostibilidade e cambio climático pola que se modifica a autorización ambiental integrada co núm. 2005/0180_NAA/IPPC_016.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=51027

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020f). *Resolución de modificación da autorización ambiental integrada núm. de rexistro da AAI: 2006/0343_NAA/IPPC_123.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=descarga& AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN accion=busqueda & AAIPortlet WAR AAIPortlet INSTANCE 4ZjN codigo=44816

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020g). *Resolución de modificación, actualización e refundido do texto da autorización ambiental integrada con número de rexistro 2006/0187_NAA/IPPC_146.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=45275

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020h). *Resolución, da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático, pola que se revisa a autorización ambiental integrada núm. 2005/0272_NAA/IPPC_169.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=48965

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020i). *Resolución, da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático, pola que se revisa a autorización ambiental integrada núm. 2006/0070_NAA/IPPC_036.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=48713

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. (2020j). *Resolución, da dirección xeral de calidade ambiental e cambio climático, pola que se revisa a autorización ambiental integrada núm. 2006/0267_NAA/IPPC_060.* (). Santiago de Compostela, España: Retrieved from https://cmatv.xunta.gal/busca-de-expedientes-da-autorizacion-ambiental-integrada?p_p_id=AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=descarga&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_accion=busqueda&AAIPortlet_WAR_AAIPortlet_INSTANCE_4ZjN_codigo=48495

Copena, D., & Simón, X. (2014). A produción de enerxía eléctrica a partir da biomasa forestal primaria. *Revista Galega De Economía*, 23(2) Retrieved from <https://revistas.usc.es/index.php/rge/article/download/2484/2541>

Copena, D., & Simón, X. (2018). Wind farms and payments to landowners: Opportunities for rural development for the case of Galicia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95, 38-47. doi:<https://doi-org.ezbusc.usc.gal/10.1016/j.rser.2018.06.043>

Creapaper. (n.d.). What is grass paper? Retrieved from <https://www.creapaper.de/en/grassfibre/>

de Coninck, H., Revi, A., Babiker, M., Bertoldi, P., Buckeridge, M., Cartwright, A., . . . Hourcade, J. C. (2018). Chapter 4: Strengthening and implementing the global response. *Global Warming Of, 1*

Díaz, M. J. (2011). *Producción de bioetanol a partir de residuos agrícolas*

DiEM25. (2019). *The green new deal for Europe. blueprint for Europe's just transition. edition II.* (). Retrieved from <https://report.gndforeurope.com/cms/wp-content/uploads/2020/01/Blueprint-for-Europes-Just-Transition-2nd-Ed.pdf>

Doldán, X. R. (2010). Enerxía e mar. In M. M. Varela (Ed.), *Unha estratexia marítima para Galicia* (pp. 107-118). Vigo: Galaxia.

Doldán, X. R. (2015). A necesidade dun novo modelo enerxético para galiza. In X. Hermida, & X. Duro (Eds.), *Ecoloxía política: Olladas desde galicia* (pp. 23-41) Obencomún (ESPAZO ECOSOCIALISTA GALEGO).

Ellen Macarthur Foundation. (n.d.). Economía circular. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

Elysis. (n.d.). Faq. Retrieved from <https://www.elysis.com/en/faq>

Ence. (2018). *Declaración medioambiental de pontevedra 2017*. (). Retrieved from https://ence.es/wp-content/uploads/pdf/declaraciones-ambientales/Declaracion_medioambiental_2017.pdf

Ence. (2020). *Declaración medioambiental 2019*. (). Retrieved from <https://ence.es/wp-content/uploads/2020/06/Declaraci%C3%B3n-medioambiental-2019.pdf>

Ence. (n.d.a). La enerxía de nuestras biofábricas. Retrieved from <https://ence.es/biofabricas/la-energia-de-nuestras-biofabricas/>

Ence. (n.d.b). Principales cifras. Retrieved from <https://ence.es/conoce-ence/nuestros-negocios/principales-cifras/>

Ence. (n.d.c). Proceso de elaboración de la celulosa. Retrieved from <https://encepontevedra.com/biofabrica/proceso-de-elaboracion-de-la-celulosa/>

Euromines. (2020). *The european magnesite/magnesia*

industry:

Enabler in the transition to a low-carbon economy. (). Bruxelas, Bélxica: Retrieved from http://www.euromines.org/files/euromines_magnesite-decarbonisation_297x210mm_fin.pdf

European Aluminium. (2015). *Recycling aluminium. A pathway to a sustainable economy.* (). Bruxelas, Bélxica: Retrieved from https://european-aluminium.eu/media/1712/ea_recycling-brochure-2016.pdf

European Aluminium. (2020). *Circular aluminium action plan. A strategy for achieving aluminium's full potential for circular economy by 2050.* (). Bruxelas, Bélxica: Retrieved from https://european-aluminium.eu/media/2929/2020-05-13-european-aluminium_circular-aluminium-action-plan.pdf

Eurostat. (2015). *Manual for air emissions accounts.* Luxemburgo: Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/7077248/KS-GQ-15-009-EN-N.pdf/ce75a7d2-4f3a-4f04-a4b1-747a6614eeb3>

Fawcett, A. A., Iyer, G. C., Clarke, L. E., Edmonds, J. A., Hultman, N. E., McJeon, H. C., . . . Asrar, G. R. (2015). Can paris pledges avert severe climate change? *Science*, 350(6265), 1168-1169.

Fernández, M. A. (2007). A enerxía solar en galiza. *Cerna: Revista Galega De Ecoloxía E Medio Ambiente*, (53), 24-25. Retrieved from

<http://www.adega.gal/info/090121joomla/files/revista%20CERNA/CERNA%2053.pdf>

Fleiter, T., Fehrenbach, D., Worrell, E., & Eichhammer, W. (2012). Energy efficiency in the german pulp and paper industry—A model-based assessment of saving potentials. *Energy*, 40(1), 84-99.

FuelsEurope. (2018). *Vision 2050. A pathway for the evolution of the refining industry and liquid fuels.* (). Bruxelas, Bélxica: Retrieved from https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/DEF_2018_V2050_Narratives_EN_digital.pdf

Fuss, S., Canadell, J. G., Peters, G. P., Tavoni, M., Andrew, R. M., Ciais, P., . . . Nakicenovic, N. (2014). Betting on negative emissions. *Nature Climate Change*, 4(10), 850-853.

Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., . . . Khanna, T. (2018). Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, 13(6), 063002.

Garg, A., & Weitz, M. (2019). Chapter 2: Stationary combustion. In E. Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, . . . S. Federici (Eds.), *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. volume 2: Energy* (). Hayama, Xapón: Institute for Global Environmental Strategies.

Global CCS Institute. (2019). *Global status of CCS 2019. targeting climate change.*

(.). Retrieved from https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/12/GCC_GLOBAL_STATUS_REPORT_2019.pdf

Gollakota, A., Kishore, N., & Gu, S. (2018). A review on hydrothermal liquefaction of biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81*, 1378-1392.

Gómez, D. R., & Watterson, J. D. (2006). Capítulo 2: Combustión estacionaria. In A. Garg, & T. Pulles (Eds.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. volumen 2: Energía* (.). Hayama, Xapón: Institute for Global Environmental Strategies.

González, P. B., Martín, S., Álvarez, A., & Anido, C. (2010). Renewable marine energies in galicia: Potential and monitoring tools. *Renewable Energy and Power Quality Journal, 1*(8), 1262-1267. doi:10.24084/repqj08.640

Gowdy, J. (2020). Our hunter-gatherer future: Climate change, agriculture and uncivilization. *Futures, 115*, 102488.

Gracia, A. S. (2013). As terras raras: O ouro tecnolóxico. *Cerna: Revista Galega De Ecoloxía E Medio Ambiente, (69)*, 20-22. Retrieved from http://adega.gal/info/090121joomla/files/revista%20CERNA/CERNA_69.pdf

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., . . . Valin, H. (2018a). Low energy demand (LED) database. Retrieved from <https://db1.ene.iiasa.ac.at/LEDDB/dsd?Action=htmlpage&page=40>

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D., . . . Valin, H. (2018b). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. supplementary information. *Nature Energy*, 3(6), 517-525. Retrieved from <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15301/>

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., . . . De Stercke, S. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy*, 3(6), 515-527.

Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., . . . Creutzig, F. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: Synthesizing the insights. *Environmental Research Letters*, 15(6), 065003. doi:10.1088/1748-9326/ab842a

Heck, V., Gerten, D., Lucht, W., & Popp, A. (2018). Biomass-based negative emissions difficult to reconcile with planetary boundaries. *Nature Climate Change*, 8(2), 151-155.

Hickel, J. (2020a). Quantifying national responsibility for climate breakdown: An equality-based attribution approach for carbon dioxide emissions in excess of the planetary boundary. *The Lancet Planetary Health*, 4(9), e399-e404. doi:[https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30196-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30196-0)

Hickel, J. (2020b). What does degrowth mean? A few points of clarification. *Globalizations*, 0(0), 1-7. doi:10.1080/14747731.2020.1812222

Hickel, J., & Kallis, G. (2020). Is green growth possible? *New Political Economy*, 25(4), 469-486.

High-Level Group on Energy-intensive Industries. (2019). *Masterplan for a competitive transformation of EU energy-intensive industries enabling a climate-neutral, circular economy by 2050*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved from https://op.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_ET0319692ENN

Holz, C., Siegel, L. S., Johnston, E., Jones, A. P., & Sterman, J. (2018). Ratcheting ambition to limit warming to 1.5 c—trade-offs between emission reductions and carbon dioxide removal. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064028.

IEA. (2020). *Aluminium*. (). París: Retrieved from <https://www.iea.org/reports/aluminium>

IGE. (2020a). Enquisa industrial de produtos. produción industrial desagregada por produtos (PRODCOM) dende 2009. Retrieved from <https://www.ige.eu/igebdt/selector.jsp?COD=9260&paxina=001&c=0303002>

IGE. (2020b). Marco input-output de galicia 2016. Retrieved from http://www.ige.eu/estatico/html/gl/economicas/contas/input_output/2016/Marco_Input_Output_Galicia_2016.xlsx

Iglesias, G., López, M., Carballo, R., Castro, A., Fraguera, J. A., & Frigaard, P. (2009). Wave energy potential in galicia (NW spain). *Renewable Energy*, 34(11), 2323-2333. doi:10.1016/j.renene.2009.03.030

INE. (2012). *CNAE-2009. notas explicativas.* (). Madrid, España: Retrieved from https://www.ine.es/daco/daco42/clasificaciones/cnae09/notasex_cnae_09.pdf

INE. (n.d.). Cuenta de emisiones a la atmósfera. Retrieved from https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176941&menu=ultiDatos&idp=1254735976603

INEGA. (2018). *Balance enerxético de galicia 2015.* (). Santiago de Compostela: Retrieved from http://www.inega.gal/descargas/publicacions/Balance_enerxetico_Galicia_2015_gal.pdf

INEGA. (2019a). *Balance enerxético de galicia 2016.* (). Santiago de Compostela: Retrieved from http://www.inega.gal/descargas/publicacions/Balance_enerxetico_Galicia_2016_gal.pdf

INEGA. (2019b). *Balance enerxético de galicia 2017.* (). Santiago de Compostela: Retrieved from http://www.inega.gal/descargas/publicacions/Balance_enerxetico_Galicia_2017_gal.pdf

INEGA. (2019c). *Balance enerxético de Galicia, 2017*. (). Retrieved from http://www.inega.gal/descargas/publicacions/Balance_enerxetico_Galicia_2017_gal.pdf

INEGA. (2020). *Balance enerxético de Galicia 2018*. (). Santiago de Compostela: Retrieved from http://www.inega.gal/descargas/publicacions/Avance_Balance_enerxetico_de_Galicia_2018.pdf

Institute for Sustainable Process Technology. (n.d.). Provides. Retrieved from <https://ispt.eu/projects/provides/>

Instituto Galego de Estatística. (2020). Enquisa industrial de produtos. produción industrial desagregada por produtos (PRODCOM) dende 2009. Retrieved from [https://www.ige.eu/igebdt/esqv.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=9260&R=0\[2015:2016:2017:2018:2019\];1\[188\]&C=2\[all\]&F=&S=998:12&SCF=#](https://www.ige.eu/igebdt/esqv.jsp?ruta=verTabla.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=9260&R=0[2015:2016:2017:2018:2019];1[188]&C=2[all]&F=&S=998:12&SCF=#)

IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. (). Xénova, Suíza: Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Bauer, Z. A. F., Goodman, S. C., Chapman, W. E., Cameron, M. A., . . . Yachanin, A. S. (2017). 100% clean and renewable wind,

- water, and sunlight all-sector energy roadmaps for 139 countries of the world. *Joule*, 1(1), 108-121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005>
- Keen, S. (2020). The appallingly bad neoclassical economics of climate change. *Globalizations*, 0(0), 1-29. doi:10.1080/14747731.2020.1807856
- Kriegler, E., Bertram, C., Kuramochi, T., Jakob, M., Pehl, M., Stevanović, M., . . . Fekete, H. (2018). Short term policies to keep the door open for paris climate goals. *Environmental Research Letters*, 13(7), 074022.
- Liu, J., Fujimori, S., Takahashi, K., Hasegawa, T., Su, X., & Masui, T. (2018). Socioeconomic factors and future challenges of the goal of limiting the increase in global average temperature to 1.5 C. *Carbon Management*, 9(5), 447-457.
- Löffler, K., Hainsch, K., Burandt, T., Oei, P., Kemfert, C., & Von Hirschhausen, C. (2017). Designing a model for the global energy system—GENeSYS-MOD: An application of the open-source energy modeling system (OSeMOSYS). *Energies*, 10(10), 1468.
- Luderer, G., Vrontisi, Z., Bertram, C., Edelenbosch, O. Y., Pietzcker, R. C., Rogelj, J., . . . Fricko, O. (2018). Residual fossil CO₂ emissions in 1.5–2 C pathways. *Nature Climate Change*, 8(7), 626-633.
- Marangoni, G., Tavoni, M., Bosetti, V., Borgonovo, E., Capros, P., Fricko, O., . . . Huppmann, D. (2017). Sensitivity of projected long-term CO₂ emissions across the shared socioeconomic pathways. *Nature Climate Change*, 7(2), 113-117.

- Marcucci, A., Kypreos, S., & Panos, E. (2017). The road to achieving the long-term paris targets: Energy transition and the role of direct air capture. *Climatic Change*, 144(2), 181-193.
- Markkanen, S., & Anger-Kraavi, A. (2019). Social impacts of climate change mitigation policies and their implications for inequality. *Climate Policy*, 19(7), 827-844.
- Martínez-Alier, J., & O'Connor, M. (1996). Ecological and economic distribution conflicts. In R. Costanza, J. Martínez-Alier & O. Segura (Eds.), *Getting down to earth: Practical applications of ecological economics* (). Washington, DC: Island Press/ISEE.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). The limits to growth. *New York*, 102(1972), 27.
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2004). *Limits to growth: The 30-year update* Chelsea Green Publishing.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2019). *Marco estratégico de energía y clima: Una oportunidad para la modernización de la economía española y la creación de empleo*. (). Retrieved from https://www.miteco.gob.es/images/es/1marcoestrategicodeenergíayclima_tcm30-487329.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020a). *Emisiones de CO2 equivalente: Galicia, serie 1990-2018*. Unpublished manuscript.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020b). *Estrategia de descarbonización a largo plazo.* (). Retrieved from https://www.miteco.gob.es/es/prensa/documentoelp_tcm30-516109.pdf

MITERD. (2020a). *Emisiones Galicia. serie 1990-2018.* Unpublished manuscript.

MITERD. (2020b). *Informe de inventario nacional gases de efecto invernadero. edición 2020. serie 1990-2018.* ().

MITERD, & OECC. (2020). *Factores de emisión. registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono.* (). Retrieved from https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf

Moses, A. (2020, -06-05T00:14:56+10:00). 'Collapse of civilisation is the most likely outcome': Top climate scientists. Retrieved from <https://voiceofaction.org/collapse-of-civilisation-is-the-most-likely-outcome-top-climate-scientists/>

Naqvi, M., Yan, J., & Dahlquist, E. (2010). Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review. *Bioresource Technology*, 101, 8001-8015.

Nemet, G. F., Callaghan, M. W., Creutzig, F., Fuss, S., Hartmann, J., Hilaire, J., . . . Smith, P. (2018). Negative emissions—Part 3: Innovation and upscaling. *Environmental Research Letters*, 13(6), 063003. doi:10.1088/1748-9326/aabff4

- Nicol, A., Gerstenberger, M., Bromley, C., Carne, R., Chardot, L., Ellis, S., . . . Viskovic, P. (2013). Induced seismicity; observations, risks and mitigation measures at CO2 storage sites. *Energy Procedia*, 37, 4749-4756.
- Nieto, J., Carpintero, Ó, Miguel, L. J., & de Blas, I. (2020a). Macroeconomic modelling under energy constraints: Global low carbon transition scenarios. *Energy Policy*, 137, 111090. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111090>
- Nieto, J., Carpintero, Ó, Miguel, L. J., & de Blas, I. (2020b). Macroeconomic modelling under energy constraints: Global low carbon transition scenarios. *Energy Policy*, 137, 111090. doi:[https://doi-org.ezbusc.usc.gal/10.1016/j.enpol.2019.111090](https://doi.org.ezbusc.usc.gal/10.1016/j.enpol.2019.111090)
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., . . . Kok, K. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180.
- Oerter, M. (2017). Co-incineration in cement plants. *Waste-to-Resources*, , 44-51. Retrieved from https://www.vdz-online.de/en/knowledge-base?tx_vdzknowledgebase_pi1%5Bcontroller%5D=Article&tx_vdzknowledgebase_pi1%5Bfilter%5D%5BcategoryArea%5D%5Bid%5D=3&tx_vdzknowledgebase_pi1%5Bfilter%5D%5BcategorySubject%5D%5Bid%5D=8&cHash=5a2656a11f400bf94ebb98a1635440e3

Organización das Nacións Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. (). París, Francia:

Retrieved

from

https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Pawar, R. J., Bromhal, G. S., William, J., Foxall, W., Korre, A., Ringrose, P. S., . . .

White, J. A. (2015). Recent advances in risk assessment and risk management of geologic CO₂ storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 40, 292-311. doi:10.1016/j.ijggc.2015.06.014

Penoucos, X. R. (2017, Nov 05,). La cementera de cosmos, en oural, ya produce al

50% y prevén aumentar. *La Voz De Galicia* Retrieved from

https://www.lavozdegalicia.es/noticia/lugo/sarria/2017/11/04/cementera-cosmos-oural-produce-50-preven-aumentar/0003_201711L4C7991.htm

Peteiro, C., García, M., & Prado, O. J. (2016). Cultivo de macroalgas mariñas: Fonte

sostible de biomasa para bio-refinerías? *Cerna: Revista Galega De Ecoloxía E Medio Ambiente*, (75), 12-15. Retrieved from

http://adega.gal/media/documentos/0algas_def.pdf

PPdeG. (2020). *Galicia, galicia, galicia. programa electoral elecciones autonómicas*

2020. (). Retrieved from [https://fejoo.gal/wp-](https://fejoo.gal/wp-content/uploads/2020/06/PROGRAMA_ELECTORAL-ELECCIONES-AUTONO%CC%81MICAS_2020.pdf)

[content/uploads/2020/06/PROGRAMA ELECTORAL-ELECCIONES-AUTONO%CC%81MICAS_2020.pdf](https://fejoo.gal/wp-content/uploads/2020/06/PROGRAMA_ELECTORAL-ELECCIONES-AUTONO%CC%81MICAS_2020.pdf)

Provides. (2018). *Deep eutectic solvents in the paper industry*. (). Retrieved from

<https://ispt.eu/media/DES-20-01-Provides-Booklet-project-results-Deep-Eutectic-Solvents-in-the-paper-industry.pdf>

Repsol. (n.d.a). Preguntas frecuentes. Retrieved from

<https://acoruna.repsol.es/es/sobre-complejo/preguntas-frecuentes/index.cshtml>

Repsol. (n.d.b). Proceso productivo. Retrieved from

<https://acoruna.repsol.es/es/sobre-complejo/proceso-productivo/index.cshtml>

Rexistro PRTR-España. (2018a). Emisiones 2015. Retrieved from http://www.prtr-es.es/informes/descargas/PRTR_Espana_MITECO_emisiones2015.zip

Rexistro PRTR-España. (2018b). Emisiones 2016. Retrieved from http://www.prtr-es.es/informes/descargas/PRTR_Espana_MITECO_emisiones2016.zip

Rexistro PRTR-España. (2019). Emisiones 2017. Retrieved from http://www.prtr-es.es/informes/descargas/PRTR_Espana_MITECO_emisiones2017.zip

Rexistro PRTR-España. (2020a). Complejos. Retrieved from http://www.prtr-es.es/informes/descargas/PRTR_Espana_MITECO_Complejos.zip

Rexistro PRTR-España. (2020b). Emisiones 2018. Retrieved from http://www.prtr-es.es/informes/descargas/PRTR_Espana_MITECO_emisiones2018.zip

Rexistro PRTR-España. (2020c). Emisiones 2019. Retrieved from http://www.prtr-es.es/informes/descargas/PRTR_Espana_MITECO_emisiones2019.zip

Rexistro PRTR-España. (n.d.a). Actividades industriales. Retrieved from <http://www.prtr-es.es/conozca/Actividades-industriales-1025062012.html>

Rexistro PRTR-España. (n.d.b). Inventario de establecimientos industriales no activos en galicia. Retrieved from <http://www.prtr-es.es/Informes/InventarioInstalacionesIPPC.aspx>

Richardson, S. (1999). Part B background. In S. Richardson (Ed.), *Joint EMEP/CORINAIR atmospheric emission inventory guidebook. 2nd ed* (). Copenague: Axencia Europea do Medio Ambiente.

Rodríguez, B. (2013). A nova era da minaría metálica en galiza. *Cerna: Revista Galega De Ecoloxía E Medio Ambiente*, (69), 10-11. Retrieved from http://adega.gal/info/090121joomla/files/revista%20CERNA/CERNA_69.pdf

Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., . . . Meinshausen, M. (2016). Paris agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C. *Nature*, 534(7609), 631-639.

Rogelj, J., Luderer, G., Pietzcker, R. C., Kriegler, E., Schaeffer, M., Krey, V., & Riahi, K. (2015). Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5 C. *Nature Climate Change*, 5(6), 519-527.

Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., . . . Marangoni, G. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nature Climate Change*, 8(4), 325.

- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., . . . Marangoni, G. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nature Climate Change*, 8(4), 325.
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., . . . Kriegler, E. (2018). Mitigation pathways compatible with 1.5 C in the context of sustainable development.
- Roibás, L., Loiseau, E., & Hospido, A. (2017). Determination of the carbon footprint of all galician production and consumption activities: Lessons learnt and guidelines for policymakers. *Journal of Environmental Management*, 198, 289-299.
- Salvação, N., Bernardino, M., & Guedes Soares, C. (2014). (2014). Assessing the offshore wind energy potential along the coasts of portugal and galicia. Paper presented at the , 2 995-1002. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84894415800&partnerID=40&md5=f396557cfed2c9562ce02324862f32d1>
- Sanjurjo-Sánchez, J., & Barrientos, V. (2018). Reevaluación del potencial geotérmico de los granitos de galicia en base a cartografía geoquímica y radiológica. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico De Laxe: Revista De Xeoloxía Galega E do Hercínico Peninsular*, (40), 123-138. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6978325&orden=0&info=link>

Sanz-Aguilar, A., Sánchez-Zapata, J. A., Carrete, M., Benítez, J. R., Ávila, E., Arenas, R., & Donázar, J. A. (2015). Action on multiple fronts, illegal poisoning and wind farm planning, is required to reverse the decline of the Egyptian vulture in southern Spain. *Biological Conservation*, 187, 10-18.

SAPEA. (2018). *SAPEA evidence review report: Novel carbon capture and utilisation technologies - research and climate aspects*. (). Retrieved from <https://www.sapea.info/wp-content/uploads/CCU-report-web-version.pdf>

Schäffer, C. (2017). Hybrid-ring tunnel kiln flue-gas based combined heating system: 65% savings on energy - a concept study. *Ziegelindustrie International*, 7

Serrano, D., Margalida, A., Pérez-García, J. M., Juste, J., Traba, J., Valera, F., . . . Mañosa, S. (2020). Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science (New York, NY)*, 370(6522), 1282-1283.

Smith, P., Davis, S. J., Creutzig, F., Fuss, S., Minx, J., Gabrielle, B., . . . Kriegler, E. (2016). Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions. *Nature Climate Change*, 6(1), 42-50.

SMS-Group. (2018). The next generation aluminum minimill. Retrieved from <https://www.sms-group.com/sms-group-magazine/overview/the-next-generation-aluminum-minimill/>

- Soliño, M., Prada, A., & Vázquez, M. X. (2009). Green electricity externalities: Forest biomass in an atlantic european region. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 407-414. doi:<https://doi-org.ezbusc.usc.gal/10.1016/j.biombioe.2008.08.017>
- Soto, M. (1999). Plantas de biogás para o aproveitamento da fracción orgánica do lixo. *Adega Cadernos*, (6), 23-28. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2908205&orden=411559&info=link>
- Specialty Marine Products and Ventures, S. L. (n.d.). Specialty marine products and ventures S.L. Retrieved from <http://www.smpv.es/>
- Stork, A. L., Verdon, J. P., & Kendall, J. (2015). The microseismic response at the in salah carbon capture and storage (CCS) site. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 32, 159-171.
- Stork, M., Meindertsma, W., Overgaag, M., & Neelis, M. (2014). *A competitive and efficient lime industry. cornerstone for a sustainable europe.* (). Retrieved from <https://www.eula.eu/a-competitive-and-efficient-lime-industry-cornerstone-for-a-sustainable-europe-lime-roadmap-summary/#>
- Strefler, J., Amann, T., Bauer, N., Kriegler, E., & Hartmann, J. (2018). Potential and costs of carbon dioxide removal by enhanced weathering of rocks. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034010.

Su, X., Takahashi, K., Fujimori, S., Hasegawa, T., Tanaka, K., Kato, E., . . . Emori, S. (2017). Emission pathways to achieve 2.0 C and 1.5 C climate targets. *Earth's Future*, 5(6), 592-604.

Temper, L., Avila, S., Del Bene, D., Gobby, J., Nicolas, K., Le Billon, P., . . . Walter, M. (2020). Movements shaping climate futures: A systematic mapping of protests against fossil fuel and low-carbon energy projects. *Environmental Research Letters*, 15(12). Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abc197>

U.S. Energy Information Administration. (2016). *International energy outlook 2016*. (). Retrieved from [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

UN Environment, Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2-26.

UNFCCC. (1997). *Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. (). Retrieved from <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/spanish/cop3/kpspan.pdf>

UNFCCC. (n.d.). Reporting requirements. Retrieved from <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/reporting-requirements>

United Nations Treaty Collection. (2021). Status of treaties. Retrieved from treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en

Van Vuuren, D. P., Stehfest, E., Gernaat, D. E., Van Den Berg, M., Bijl, D. L., De Boer, H. S., . . . Harmsen, M. (2018). Alternative pathways to the 1.5 C target reduce the need for negative emission technologies. *Nature Climate Change*, 8(5), 391-397.

Varela Vázquez, P. (2016). *Políticas de promoción de sectores eólicos periféricos. estudo do sector eólico galego e os seus efectos económicos*

Varela, R. (2004). *Contaminación atmosférica en galiza: Inventario de emisións de gases de efecto invernadoiro, gases acidificantes e dioxinas (ano 2000)*. A Coruña: Baía.

Varela, R. (2008). Tendencia das emisións en galiza 2000-2006: Gases de efecto invernadoiro. *Cerna: Revista Galega De Ecoloxía E Medio Ambiente*, (55), 14-17. Retrieved from <http://www.adega.gal/media/documentos/C55-P14-17.pdf>

Varela, R. (2020). Electointensivas con data de caducidade. *Cerna: Revista Galega De Ecoloxía E Medio Ambiente*, (83) Retrieved from [https://adega.gal/media/documentos/electointensivas_\(6\)_compressed.pdf](https://adega.gal/media/documentos/electointensivas_(6)_compressed.pdf)

Vega, D. J. (2011). *Cultivos energéticos. selección de variedades y definición de las propiedades de la biomasa para su combustión en pequeña y mediana escala*

Veiras, X. (2015). Galicia perante o cambio climático. In X. Hermida, & X. Duro (Eds.), *Ecoloxía política: Olladas desde galicia* (pp. 61-74) Obencomún (ESPAZO ECOSOCIALISTA GALEGO).

VITO. (n.d.). Carbstone. Retrieved from <https://vito.be/en/carbstone>

Votorantim Cimentos. (2020a). *Cemento portland compuesto*. (). Vigo, España: Retrieved from <https://www.votorantimcimentos.es/es-es/cemento-vt/Lists/LSTVTCementosProductos/Attachments/6/FT%20cem2-b-m-v-l-32-5-n-cemento-portland-tipo2-toral.pdf>

Votorantim Cimentos. (2020b). *Cemento portland con bajo contenido en álcalis*. (). Vigo, España: Retrieved from <https://www.votorantimcimentos.es/es-es/cemento-vt/Lists/LSTVTCementosProductos/Attachments/4/FT%20cem1-52-5-r-b-a-cemento-portland-tipo1-oural.pdf.pdf>

Votorantim Cimentos. (2020c). *Cemento puzolánico resistente a los sulfatos*. (). Vigo, España: Retrieved from <https://www.votorantimcimentos.es/es-es/cemento-vt/Lists/LSTVTCementosProductos/Attachments/8/FT%20cem4-a-v-42-5-r-sr-cemento-puzolanico-tipo4-oural.pdf>

Vrontisi, Z., Luderer, G., Saveyn, B., Keramidis, K., Lara, A. R., Baumstark, L., . . . Fragkiadakis, K. (2018). Enhancing global climate policy ambition towards a 1.5 C stabilization: A short-term multi-model assessment. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044039.

Ward, J. D., Sutton, P. C., Werner, A. D., Costanza, R., Mohr, S. H., & Simmons, C. T. (2016). Is decoupling GDP growth from environmental impact possible? *PloS One*, 11(10), e0164733.

Wesseling, J. H., Lechtenböhmer, S., Åhman, M., Nilsson, L. J., Worrell, E., & Coenen, L. (2017). The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonization: Characteristics and implications for future research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1303-1313.

World Bank Data Team. (2019). Nueva clasificación de los países según el nivel de ingresos para 2019 y 2020. Retrieved from <https://blogs.worldbank.org/es/opendata/nueva-clasificacion-de-los-paises-segun-el-nivel-de-ingresos-para-2019-y-2020>

Wyns, T., & Khandekar, G. (2019). *Metals for a climate neutral europe. A 2050 blueprint*. (). Bruxelles, Bélgica: Retrieved from https://www.ies.be/files/Metals_for_a_Climate_Neutral_Europe.pdf

Wyns, T., Khandekar, G., & Robson, I. (2018a). *Industrial value chain. A bridge towards a carbon neutral europe*. (). Retrieved from [ies.be/files/Industrial_Value_Chain_25sept_0.pdf](https://www.ies.be/files/Industrial_Value_Chain_25sept_0.pdf)

Wyns, T., Khandekar, G., & Robson, I. (2018b). *Industrial value chain. A bridge towards a carbon neutral europe. addenda*. (). Retrieved from https://www.ies.be/files/Addenda_0.pdf

Xunta de Galicia. (2019a). *Estratexia galega de cambio climático e enerxía 2050*. ().

Retrieved

from

https://cambioclimatico.xunta.gal/c/document_library/get_file?folderId=86590&name=DLFE-54555.pdf

Xunta de Galicia. (2019b). *Plan rexional integrado de enerxía e clima 2019-2023*. ().

Retrieved

from

https://cambioclimatico.xunta.gal/c/document_library/get_file?folderId=86590&name=DLFE-54456.pdf

Zhang, R., Fujimori, S., & Hanaoka, T. (2018). The contribution of transport policies to the mitigation potential and cost of 2 C and 1.5 C goals. *Environmental Research Letters*, 13(5), 054008.

Zografos, C., & Robbins, P. (2020). Green sacrifice zones, or why a green new deal cannot ignore the cost shifts of just transitions. *One Earth*, 3(5), 543-546.

Anexos

ANEXO I: COMPLEXOS INDUSTRIAIS PERTENCENTES Á IIE GALEGA QUE QUEDAN FÓRA DO UNIVERSO DE ESTUDO.

Táboa 11: Complexos industriais pertencentes ás IIEs fóra do universo de estudo	
Nome do complexo industrial	Rama de actividade (clase CNAE09)
Papelera De Brandia, S.A.	Fabricación de papel e cartón (17.12)
Kingspan Insulation, S.A.	Fabricación doutros produtos básicos de química orgánica (20.14)
Regadi	
ABCR Laboratorios, S.L.	
Compañía Española De Industrias Electroquímicas, S.A.	Fabricación doutros produtos químicos n.c.n. (20.59)
IKF España S.A. Lomba	Fabricación de produtos cerámicos refractarios (23.20)

Ceramicas El Progreso	Fabricación de tixolos, tellas e produtos de terras cocidas para a construción (23.32)
Sucesores De Severino Gómez	
Ceramica Rioboo,S.L.	
Fabrica De Ladrillos De Portomarin	
Productos Ulla, S.L.	
Sociedade Anonima Tudela Veguin-Planta De Naron	Fabricación de cemento (23.51)
Gallega De Molienda De Clinker S.L.U.	

ANEXO II: CUESTIONARIO AOS COMPLEXOS INDUSTRIAIS.

Cuestionario relativo ao diagnóstico da estrutura produtiva e as emisión GEI dos complexos industriais intensivos enerxeticamente en Galicia: procesos industriais, fluxos de enerxía e materiais, e emisión de GEI á atmosfera. Período 2015-2019.

Datos xerais do complexo industrial:

Nome do complexo e empresa á que pertence:

Número de traballadores a xornada completa equivalente que había no complexo en 2019:

Datos da persoa responsábel de cubri-lo cuestionario:

- Nome completo: _____
- Cargo na empresa: _____
- Relación laboral co complexo industrial: _____
- Correo electrónico: _____
- Teléfono de contacto: _____

1) Producción material:

¿Que materiais produciron entre 2015 e 2019? Indicar datos de produción (en toneladas) para cada un. Como material entiéndese calquera produto ou ben industrial, independentemente do seu estado líquido, sólido ou gasoso e do seu uso (xa sexa enerxético ou non enerxético).

Indica-las fases dos procesos produtivos que tiveron lugar na fábrica en 2019 cunha breve descrición de cada unha, relacionándoas co correspondente material producido. Se un mesmo proceso industrial intervén na fabricación de dous materiais distintos, indicalo.

Valorarase a inclusión dalgún diagrama ou gráfico que ilustre a interrelación entre procesos, fluxos de materiais e enerxía, e emisión no conxunto do complexo industrial.

2) Consumo enerxético:

¿Cal foi o consumo enerxético do complexo industrial entre 2015 e 2019? Indicar datos en gigajulios (GJ) clasificados en función da fonte de enerxía (nome do combustíbel, electricidade, total). Clasificaranse tamén por proceso produtivo para o ano 2019 exclusivamente.

3) Emisións de gases de efecto invernadoiro:

¿Cantas emisións de CO₂, HFCs e PFCs (en toneladas de CO₂ equivalente) xerou o seu complexo entre 2015 e 2019 segundo categoría CRF (combustión ou proceso)? Clasifica-los datos a nivel de proceso produtivo para o ano 2019.

4) En relación á crisis económica da COVID-19:

¿Tivo ou estiman que terá algunha consecuencia estrutural (de longo prazo, máis alá dos efectos coxunturais temporais) na produción no seu complexo industrial? No caso de que si, indiquen cal/es en termos de niveis de produción e materiais producidos.

ANEXO III: RESULTADOS DO PROCESO DE RECOLLIDA DE INFORMACIÓN

Táboa 12: Resultados do proceso de recollida de información		
Complexo industrial enquisado	¿Respondeu ao cuestionario?	Calidade da resposta / Motivos polos que non respondeu
ENCE ENERGÍA Y CELULOSA, SA - FABRICA DE PONTEVEDRA	Non	n.d.
REPSOL YPF COMPLEJO INDUSTRIAL A CORUÑA	Non	n.d.
AIR LIQUIDE IBERICA DE GASES	Non	n.d.
BIOETANOL GALICIA	Non	n.d.
MASOL IBERIA BIOFUEL	Non	n.d.
FORESTAL DEL ATLANTICO, SA	Non	Están agardando pola resposta de departamentos superiores.
ARTEIXO QUIMICA S.L.	Si	Enquisa completa sen clasificar por procesos. Respondeu a preguntas adicionais.
SPECIALTY MARINE PRODUCTS AND VENTURES, SL	Non	Falta de tempo
CERÁMICA DA MOURA	Non	n.d.
TEJAS VEEA SA	Si	Enquisa completa sen clasificar por proceso
CERAMICA LA MANCHICA, S.L.	Si	Resposta parcial: só datos relativos á serie 2015-2019. Respondeu a preguntas adicionais

CAMPO BRICK, S.L.	Si	Enquisa completa sen clasificar por proceso. Respondeu a preguntas adicionais.
CERÁMICAS DEL MIÑO	Non	n.d.
REFRACTARIOS CAMPO S.L.	Non	Falta de tempo
EPIFANIO CAMPO, S.L.	Si	Enquisa completa sen clasificar por proceso
CEMENTOS COSMOS (OURAL)	Si	Enquisa completa e respondeu a preguntas adicionais.
MAGNESITAS DE RUBIAN S.A.	Non	n.d.
XALLAS ELECTRICIDAD Y ALEACIONES, SAU-CEE	Non	n.d.
XALLAS ELECTRICIDAD Y ALEACIONES, SAU-DUMBRIA	Non	n.d.
CELSA ATLANTIC, S.L.	Si	Enquisa completa
MEGASA SIDERURGICA	Si	Resposta parcial e por vía oral: só preguntas 1, 2 e 3 para ano 2018 e número de traballadores.
ALUMINA ESPAÑOLA S.A.	Non	n.d.
ALUMINIO ESPAÑOL, SA	Non	n.d.
ALU IBÉRICA LC, SL - LA CORUÑA	Non	n.d.
FERROATLÁNTICA DE SABÓN, SLU	Sí	Enquisa completa e respondeu a preguntas adicionais
Nota: n.d. significa "información non dispoñíbel".		

ANEXO IV: PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN MATERIAL. ASPECTOS METODOLÓGICOS: MÉTODOS E FONTES.

As proxección de produción material coas cales se calculan as taxas de variación da produción dos distintos materiais básicos (ΔP_i) proceden de diferentes fontes e trasládanse ao caso galego baixo diferentes hipótese. A continuación se detallan estas cuestións metodolóxicas. En relación aos materiais ou industrias non mencionados, non se identificaron proxeccións facilmente aplicabeis ao caso galego.

Para o aceiro e o cemento, proceden do informe Energy Technology Perspectives 2020 da Axencia Internacional da Enerxía (Axencia Internacional da Enerxía, 2020a) e están referidas á produción na Unión Europea no período 2018-2050 e o escenario SDS (escenario de desenvolvemento sostíbel).

En canto á industria do aluminio, adóptanse distintas hipóteses para cada material: alúmina e aluminio. Comunmente adóptase o MD e o ME de LED; pero ademais adóptase outra variábel para capta-los efectos das variacións en termos relativos de cada ruta de produción (primaria e secundaria) en Europa. Esta variábel podería designarse como taxa de variación da ruta, e obtense dividindo o peso relativo da produción de cada ruta en 2050 en relación á demanda total de aluminio en Europa nese ano entre o peso relativo da produción da ruta correspondente en 2019 en relación á demanda total de aluminio en Europa nese mesmo ano; segundo datos de Europe Aluminium (2020, p. 9). Estas taxas son: 0,735 para o aluminio primario (descenso da produción en termos relativos) e 2,4 para o aluminio secundario pos-consumo (aumento significativo en termos relativos). A primeira aplícase á alúmina, por se-la principal materia prima da cal se obtén o aluminio primario. Non se distingue entre aluminio primario e secundario porque na estratexia de descarbonización deste sector cada complexo producirá tanto aluminio primario coma secundario.

As taxas de variación da produción na refinaría da Coruña e en Masol Iberia Biofuel calcúlanse en base ás proxeccións de demanda mundial de enerxía líquida secundaria da biomasa e do petróleo estimadas no escenario LED (Grubler, A. et al., 2018a). ΔP_i do bioetanol calcúlase a partir das proxeccións de produción de

bioetanol combustíbel na Unión Europea realizadas pola Sociedade Alemana de Enxeñería Química e Biotecnoloxía (en adiante Dechema polo seu nome abreviado oficial) entre 2015 e 2050 para calquera dos escenarios considerados por esta fonte (asúmese a mesma produción para tódolos escenarios considerados) (Bazzanella & Ausfelder, 2017).

A produción futura da refinaría de Repsol en Galicia está determinada en gran medida polo escenario de transición enerxética que subxace trala estratexia. Este escenario de transición enerxética contén proxeccións decenais de demanda enerxética entre 2020 e 2100 e está cuantificado na base de datos LED (Grubler, A. et al., 2018a). En canto á produción de produtos petrolíferos, a taxa de variación da produción anual entre o ano promedio entre o período actual e 2050 obtense a partir da proxección da demanda mundial de petróleo como fonte de enerxía primaria entre 2020 e 2050; é igual a 0,11. Asúmese, por tanto, que todo este petróleo se procesa nas refinerías e que a proporción de naftas e asfaltos obtidos de cada tonelada de petróleo cru permanece constante. En canto á segunda hipótese, dado que a produción de petróleo a nivel mundial experimenta unha caída moi grande, asumimos que iso permite non esgota-las reservas de cru convencional mundiais (que en 2015 eran de 2,201 billóns de barrís (Axencia Internacional da Enerxía, 2016, p. 128)), co cal asumimos unhas características deste recurso similares ás actuais.

En canto á produción de produtos biopetrolíferos, a taxa de variación da produción (igual a 1,50) obtense a partir da proxección da demanda mundial de enerxía líquida secundaria da biomasa entre 2020 e 2050 e considerando que a produción do resto de derivados do biopetróleo evoluciona de forma equivalente, é dicir, partindo de que a cantidade de cada produto biopetrolífero obtido dunha tonelada de biopetróleo permanece constante. Considérase esta hipótese porque as características da biomasa utilizada como materia prima para producir biopetróleo non necesariamente cambiarán co tempo. Asúmese que se empezará a producir produtos biopetrolíferos en 2033 (15 anos para que LHT pase dun TRL de catro a estar no mercado).

Por outro lado, para establecer un nivel de produción de produtos petrolíferos en 2040 (xa que a produción de biopetróleo en Repsol Coruña é cero actualmente) tómase o peso relativo da metade da variación da enerxía líquida secundaria procedente da biomasa entre 2020 e 2040 con respecto á enerxía líquida secundaria procedente do petróleo en 2040 a nivel mundial do escenario LED. Isto significa que asumimos que de 2020 a 2040 a produción mundial de enerxía líquida secundaria da biomasa reaxústase de forma que para 2040 a industria de refinación de petróleo mundial absorbe a metade do incremento da produción deste recurso enerxético en dito período; de 2040 en adiante os incrementos da produción distribuiríanse equitativamente en base ás proporcións establecidas. Esta hipótese adóptase de forma aproximada en base a o ano de entrada da tecnoloxía LHT: 2033. Non se adopta a variación entre 2030 e 2040 porque esta é negativa: prodúcese una redución na produción mundial de enerxía líquida secundaria da biomasa no escenario LED. Esta hipótese permite establece-lo peso relativo dos produtos biopetrolíferos en relación aos produtos petrolíferos en 2040 neste complexo industrial, o cal permite estima-los niveis de produción nos seguintes anos en base ás taxas de variación correspondentes. Este peso relativo en 2040 é igual a 0,02 en tanto por un.

Por último en relación á produción material total da industria de refinación de petróleo, esta será igual á suma dos niveis de produción de produtos petrolíferos e produtos biopetrolíferos en 2050 dividida entre a suma dos niveis de produción destes materiais actualmente (2020). Como non se dispón das proxeccións de produción de produtos biopetrolíferos, utilízanse as de enerxía secundaria líquida da biomasa en termos relativos polos motivos indicados anteriormente.

ANEXO V: INVENTARIO DE ALTERNATIVAS DE DESCARBONIZACIÓN NAS IIEs GALEGAS

Táboa 13: Inventario de alternativas de descarbonización nas IIE galegas, 2020-2050											
Industria	Complexo industrial	CRF	Características das alternativas de descarbonización					Indicadores de transición			
			Nome	Tipo	TRL / Ano	FEE _{i,AD,p}	FM _p	CTE _i	FM _i	CTM _i	PD _i
Fabricación de pasta papeleira	Ence Pontevedra	C	H ₂ nos fornos de calcinación	Transición enerxética	D	0	1	n.d.	1,00	n.d.	1
			Produtos biopetrolíferos de apoio nas caldeiras	Transición enerxética	2033	0	1				
			Electrificación das caldeiras	Transición enerxética	0	0	1				
		C	Fornos verticais de calcinación	Eficiencia enerxética	D	n.d.	n.d.				
			Electrificación do proceso de secado	Eficiencia enerxética	D	Elevado	n.a.				
			Gasificación do licor negro	Eficiencia enerxética	8-9	0,5	n.a.				
			Solventes eutécticos profundos	Eficiencia enerxética	2030	0,4	n.a.				

Refinación de petróleo	Repsol Coruña	C	Licuefacción hidrotermal da biomasa	Substitución de materiais	< 5	0	0	n.d.	0,25	0,12	0,912
			Medidas de eficiencia enerxética de baixo CAPEX	Eficiencia enerxética	4-9	> 0	n.d.				
			Electrificación de procesos e outras medidas	Transición enerxética	4-9	> 0	n.d.				
Fabricación de gases industriais	Air Liquide	C	Electrificación da xeración de vapor	Transición enerxética	7	0	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fabricación doutros produtos básicos de química orgánica	Bioetanol Galicia	C	Gas natural por H ₂ ou biogás	Transición enerxética	D	0	1	n.d.	1,00	1,37	1
			Electrificación da xeración de vapor	Transición enerxética	7	0	1				
	Masol Iberia	C	Electrificación da xeración de vapor	Transición enerxética	7	0	1	n.d.	1,00	1,5	1
Fabricación de colas	Forestal del Atlántico	C	Electrificación da xeración de vapor	Transición enerxética	7	0	1	n.d.	1,00	n.d.	1
			Biomasa na central de coxeración	Transición enerxética	D	0	1				
Fabricación doutros produtos químicos n.c.n.	Arteixo Química	C	Gas natural por H ₂ ou biogás	Transición enerxética	D	0	1	n.d.	1,00	n.d.	1
	Specialty Marine	C	Substitución de gasóleo por biomasa	Transición enerxética	D	0	1	n.d.	1,00	n.d.	1

Industria cerámica	Cerámica da Moura	C	Sistema de quecemento combinado en forno anel de túnel híbrido	Eficiencia enerxética	< 5	0,55	0,55	0,45	1,00	n.d.	1
	Tejas Vereas										
	Cerámica la Manchica										
	Campo Brick										
	Cerámicas del Miño										
	Nueva Cerámica Campo										
	Epifanio Campo										
Fabricación de cemento	Cementos Cosmos Oural	C + P	Redución do factor de clínker	Substitución de materiais	D	< 0,4	1	n.d.	Elevado	0,89	Elevado
		C	Uso de residuos, biomasa e coque de biopetróleo	Transición enerxética	D	< 0	1				
		C + P	Clínker belítico que contén yelimita	Substitución de materiais	8-9	Baixa	0,3				
			Clínker de silicato de calcio	Substitución de materiais	8-9	0,2	0,7				
			Clínker de óxido magnésico derivado de silicato magnésico	Substitución de materiais	< 5	0	1				

Fabricación doutros produtos minerais non metálicos n.c.n.	Magnesitas de Rubián	C	H ₂ como combustible en calcinación	Transición enerxética	D	Pequenas perdas	1	0,42	0,38 sen CCU; 0,94 con CCU	n.d.	n.d.				
			Electrificación da calcinación	Transición enerxética	n.d.	0	1								
			Forno de leito fluidizado	Eficiencia enerxética	D	0,6	0,23								
			Biomasa na central de coxeración	Transición enerxética	D	0	1								
		P	CCU	CCU	< 5	0	0,9								
Fabricación de produtos básicos de ferro, aceiro e ferroalixados	XEAL Cee	P	Carbón renovábel como axente redutor	Substitución de materiais	D	0	Elevado	1	n.d.	n.d.	Elevado				
		P	Pasta electrometalúrxica sen carbono fósil	Substitución de materiais	n.d.	0	n.d.								
	XEAL Dumbría	P	Carbón renovábel como axente redutor	Substitución de materiais	D	0	Elevado								
		P	Pasta electrometalúrxica sen carbono fósil	Substitución de materiais	n.d.	0	n.d.								
	Celsa Atlantic	C	Gas natural por H ₂ ou biogás	Transición enerxética	D	0	1					n.d.	0,82	0,73	0,898 sen CCU; 0,987 con CCU
		C	Quecemento magnético de palanquilla	Transición enerxética	D	Eficiencia do proceso > 80%	1								

	Megasa Siderúrgica	C	Gas natural por H ₂ ou biogás	Transición enerxética	D	0	1				
Produción de aluminio	Alúmina Española	C + P	Transición cara a produción secundaria	Substitución de materiais	D	0,9	n.d.	n.d.	1,00	n.d.	1
		C	Electrificación da xeración de vapor	Transición enerxética	D	0	1				
		C	Gas natural por H ₂ ou biogás	Transición enerxética	D	0	1				
		C	Forno de leito fluidizado para a calcinación	Eficiencia enerxética	D	0,6	n.a.				
	Aluminio Español	C + P	Transición cara a produción secundaria	Substitución de materiais	D	0,9	n.d.	n.d.	1,00	n.d.	1
		P	Tecnoloxía ELYSIS™	Outras innovacións de proceso	2024	n.d.	1				
		P	Redución temperatura electrolito	Eficiencia enerxética	7	0,05	n.a.				
		n.a.	Espectroscopia de descomposición inducida por láser	Eficiencia enerxética	5	0,12	n.a.				
		C	Quecemento magnético na fundición	Transición enerxética	D	Eficiencia do proceso > 80%	1				

		CI	Pequenas fábricas de laminados	Eficiencia enerxética	6	n.d.	n.a.				
	Alu Ibérica LC	C + P	Transición cara a produción secundaria	Substitución de materiais	D	0,9	n.d.	n.d.	1,00	n.d.	1
		P	Tecnoloxía ELYSIS™	Outras innovacións de proceso	2024	n.d.	1				
		P	Redución temperatura electrolito	Eficiencia enerxética	7	> 0	n.a.				
		n.a.	Espectroscopia de descomposición inducida por láser	Eficiencia enerxética	5	0,12	n.a.				
		C	Quecemento magnético na fundición	Transición enerxética	D	E > 80%	1				
		C	Electrificación da xeración de calor	Transición enerxética	D	0	1				
Produción doutros metais non férreos	Ferroatlántica de Sabón	P	Uso de carbón renovábel como axente reductor	Substitución de materiais	D	0	0,92	1	1,00	n.d.	1
		P	Pasta electrometalúrxica e grafito sen carbono fósil	Substitución de materiais	n.d.	0	0,08				
Calquera		C	Biocombustíveis para emisións pequenas	Transición enerxética	D	0	1	1	1,00	n.a.	1

Notas:

- Siglas: C: combustión, P: proceso, C + P: combustión e proceso, CI: indirectas de combustión (noutras industrias ou sectores), D: dispoñíbel, E: eficiencia do proceso. n.d.: dato non dispoñíbel, n.a.: non aplica.
- A columna "CRF" indica a categoría das emisións que se mitigarían coa AD da fila correspondente segundo a categoría CRF. A columna "TRL/Ano" indica o TRL ou o ano no que se espera que poida entrar no mercado a AD correspondente.
- Os valores das columnas CTEi, FMi, CTMi e PDi están referidos ao ano 2050 en relación aos valores do período de estudo (2015-2019)
- Na industria de fabricación de azulexos, balsosas cerámicas, ladrillos, tellas e produtos de terras cocidas para a construción as ADs propostas son comúns a tódolos complexos
- A maiores das ADs indicadas, en Cementos Cosmos Oural e Megasa Siderúrgica podería ser necesario implementar tecnoloxías CCU. Isto só sería necesario baixo as condicións que se indican nas estratexias sectoriais correspondentes.
- A AD "Pasta electrometalúrxica e grafito sen carbono fósil" de Ferroatlántica de Sabón non é precisa para logralo obxectivo de descarbonización en 2050. De non descubrirse a forma de implementar esta AD, FM sería inferior a 1 pero superior a 0,911.
- De descubrirse a forma de implementala AD "Pasta electrometalúrxica sen carbono fósil" en XEAL Cee e XEAL Dumbría, FM nestes complexos sería 1, como se indicou na subestratexia correspondente (subsección 7.3.10).