

RESUMO

As distintas variacións no clima e no medio ambiente que están tendo lugar nos últimos anos, están provocando que nos decatemos da influencia real que o noso estilo de vida está a ter no planeta que habitamos.

Ante as catástrofes naturais que se están presentando nalgúns territorios, as prolongadas secas que outros están a soportar, e sobre todo a falta de recursos, na súa meirande parte enerxéticos, están producindo que os gobernos dos diferentes territorios estean a promulgar novas lexislacións e normativas en materia ambiental, co fin de reducir o impacto das nosas actividades no medio que nos rodea.

Aquí é onde entra en xogo a construción, xa que é un dos sectores que presenta maior consumo de materias primas, fontes enerxéticas e é un dos grandes produtores de emisións, contaminación e residuos. No noso país, a normativa vixente en materia ambiental, está centrada na redución do consumo dos edificios mediante a mellora da súa eficiencia enerxética, obtendo así, construcións máis sostibles. Este enfoque deixa de lado outros puntos de actuación nos que os distintos axentes que interveñen no proceso construtivo poden afondar, co fin de mellorar a eficiencia dos edificios e o seu consumo de medios e recursos.

Este proxecto aporta unha metodoloxía de cálculo centrada na análise da enerxía incorporada e do carbono incorporado, tanto nos materiais coma nos edificios no seu conxunto, aumentando deste xeito, o espectro de actuación no que os técnicos podemos actuar para reducir a pegada da construción no ambiente.

Analizar este tipo de impactos, ofrece a posibilidade de que xa dende a fase de proxecto se poidan configurar construcións máis sostibles, mediante o emprego de materiais que requiran de menos enerxía para a súa produción, materiais locais cos que se reduzan as distancias a recorrer..., e que polo tanto presenten unha menor carga ambiental, favorecendo así o global do edificio.

A metodoloxía engloba tódolos aspectos que se presentan ao longo do ciclo de vida dun edificio, polo que tamén están reflectidos os impactos debidos ao transporte, construción, mantemento e demolición. Por último, desenvólvese unha ferramenta informática de aplicación, que permite o seu coñecemento e divulgación, para fomentar a análise dun maior rango de impactos que atinxen ao sector da construción.

Palabras clave: Enerxía Incorporada, Carbono Incorporado, Sostible, Eficiencia Enerxética.

ABSTRACT

Because of the changes on climate and environment on recent years, we can realize of the real influence that our lifestyle is causing on our planet.

Natural disasters, droughts, lack of resources, most of them energetic, are causing that governments of many territories decree different laws and regulations on environmental area, to try to reduce the environmental impact that our activities and lifestyle are causing on it.

Construction sector plays an important role. It represents a huge consumption of raw material and energy source, and, at the same time, it is one of the biggest producers of discharge, pollution and wastes. In our country, the applicable legislation on the environment is focused on reducing consumption of buildings by improving their energy efficiency, obtaining more sustainable buildings. This approach leaves aside other points of action in which different agents involved in the construction process can go further, in order to improve the efficiency of buildings and their consumption of resources.

This project provides a calculation methodology centred on the analysis of embodied energy and carbon, both in materials and buildings as a whole, thus increasing the spectrum of action in which technicians can act to reduce the carbon footprint of the building on the environment.

To analyze these impacts, it offers the possibility that, already from the project stage, the construction can be more sustainable by using materials that require less energy for production, with local materials to reduce the distances..., and therefore to present a lower environmental burden, thus promoting the overall building.

This methodology includes all aspects that are present throughout the life cycle of a building. It is also reflected the impact due to the transport, construction, maintenance and demolition. Finally, a computer application is developed, which allow its knowledge and divulgation to promote the analysis of a greater range of impacts that affect the construction sector.

Key words: Embodied Energy, Embodied Carbon, Sustainable, energy efficiency.

1 INTRODUCCIÓN

A sociedade actual na que estamos asentados, basea todas as súas actividades no consumo enerxético e de recursos naturais. Non se poder percibir unha sociedade que non faga uso da electricidade, dos medios de transporte ou das novas tecnoloxías e na que non vivamos comodamente na nosa propiedade.

Todas estas actuacións levan asociadas consigo un conxunto de emisións e danos ao ambiente que nos rodea, provocando o deterioro do mesmo, o esgotamento dos recursos dos que dispoñemos e a variación do clima ao que estamos afeitos.

Na actualidade, estase a percibir un aumento da importancia de preservar o medio que nos rodea debido á concienciación cidadá que se xera a partir da información que se está a promulgar nos medios de comunicación e a través das distintas redes sociais.

O deterioro do medio ambiente, e particularmente os cambios no clima, xa non son teorías futuras dalgúns visionarios, son feitos que estamos a constatar nas nosas propias peles, observando as grandes catástrofes naturais que están a ocorrer nos últimos anos, debidas ao quentamento do globo terráqueo. Todas estas cuestións obrigan ao conxunto da sociedade e a todos os sectores produtivos e económicos que o provocan, a unha reorientación profunda das pautas de produción e consumo, para conseguir reducir o noso impacto no medio e non levar o planeta a unha situación de crise de supervivencia mundial.

Ata agora os sistemas actuais de produción están altamente ligados ao consumo de grandes cantidades de materia prima e a un elevado consumo enerxético, o que ten como consecuencia un gran impacto medioambiental, reflectido nas emisións de CO₂ que se producen e que aumentan o efecto invernadoiro.

A partir da firma de diversos acordos internacionais en materia ambiental, o compromiso das distintas comunidades co seu medio vese regulado en diferentes normativas de obrigado cumprimento, o que está a supoñer un cambio nas políticas mundiais, así como no sector da construción en particular, un dos que máis contaminación e consumo de recursos presenta.

Desde a Unión Europea estanse a fomentar diversas políticas comunitarias a cumprir polos seus países membros, encamiñadas a reducir os consumos de enerxía e mellorar a eficiencia enerxética nos distintos sectores e sobre todo no sector da edificación.

España é un dos países onde máis medraron as emisións de CO₂ con respecto ao ano 1999, ano que marca o protocolo de Kioto como base para as medicións e cumprimento de medidas ambientais. Por este motivo, os novos plans promulgados de aforro enerxético, estanse a centrar na redución do consumo de enerxía nos edificios e fogares españois, así como da mellora dos mesmos, co fin de que a súa eficiencia e necesidades enerxéticas sexan menores.

Un dos principais plans que están en vigor é a estratexia “Plan de acción nacional de eficiencia enerxética en España 2011-2020”, que ten como obxectivos que no ano 2020 en Europa, se reduzan as emisións de GEI nun 20%, se incremente a contribución das enerxías renovables na mestura enerxética nun 20% e se mellore a eficiencia enerxética aforrando o 20% de enerxía primaria.

Sector	2010		2016		2020	
	(ktep)	Reparto porcentual (%)	(ktep)	Reparto porcentual (%)	(ktep)	Reparto porcentual (%)
Edificación e equipamento	2.529,0	53,6	2.674,0	20,3	2.867,0	16,1
Residencial	752,0	15,9	119,0	0,9	211,0	1,2
Envolvente e equipos térmicos	699,0	14,8	85,0	0,6	161,0	0,9
Iluminación	53,0	1,1	34,0	0,3	50,0	0,3

Figura 1.1: Aforros de enerxía final no sector da edificación e distribución porcentual¹.

Para conseguir alcanzar os obxectivos que marca a nova lexislación enerxética é preciso adoptar medidas estruturais que encamiñen ao noso país cara un modelo de desenvolvemento baixo en carbono, é dicir, que a xeración de enerxía proveña na maior cantidade posible de fontes renovables, á vez que o noso consumo persoal se ve reducido.

Nos últimos anos, a taxa de emisións en España presenta unha tendencia á baixa, provocada non polas melloras do noso sistema enerxético ou da eficiencia das edificacións, senón que está motivada pola crise económica, que reduciu as actividades na construción e demais sectores (grandes consumidores de enerxía), e pola baixada de consumo nas vivendas, debida á subida nos prezos.

¹ Elaboración propia a partir da información aportada polo “Plan de acción nacional de eficiencia energética en España 2011-2020”. IDAE

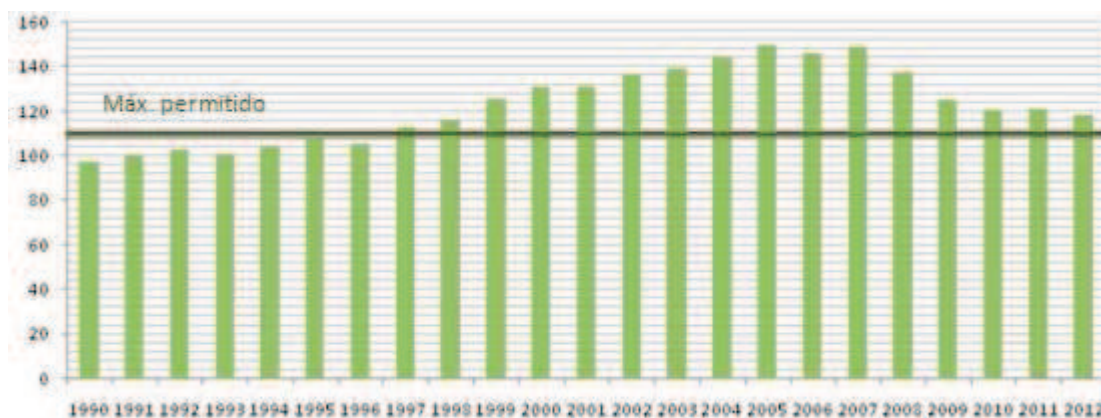


Figura 1.2: Evolución das emisións de gases de efecto invernadoiro en España².

A paralización da construción, que era un dos motores principais do crecemento español, a diminución da demanda eléctrica e de gas natural, así como o aumento do paro, son en grande medida responsables do descenso das emisións totais e das emisións por habitante, que tamén se viron reducidas de xeito considerable, pasando de 9,8 toneladas de CO₂ en 2005 a 7,3 toneladas de CO₂ en 2012³.

Grazas a este parón na economía, España cumpriu os obxectivos de emisións establecidos nas distintas normativas ambientais, debido a que a redución da produción das empresas e industrias, provocou un descenso das emisións de GEI.

A nota negativa a poñen sectores como o enerxético e o transporte (de gran influencia na edificación), que non teñen unha regulación en dereitos de emisión, e que en contraposición ao resto de sectores, aumentaron as emisións en España no último ano, o que provocou que o estado tivera que mercar bonos de carbono doutros países para lograr os obxectivos fixados.

O campo das emisións de CO₂ estase a converter nun negocio, xa que as empresas que reducen a súa actividade venden os seus bonos de carbono a empresas que contaminan máis do permitido, e que lles sae máis barato pagar por contaminar ca realizar reformas no seu proceso produtivo. Actualmente, por emitir unha tonelada de CO₂ a atmosfera, o prezo que hai que pagar é inferior a 5 €⁴.

O sector da construción contribúe de xeito importante ao deterioro ambiental nas súas distintas fases (extracción e fabricación de materiais, deseño da edificación e das súas instalacións, que inflúen decisivamente no rendemento enerxético desta, xestión da obra e dos seus residuos...) e necesita dar un xiro notable cara á adopción de decisións encamiñadas cara o sostible.

² Elaboración propia a partir da información extraída do documento “Informe de emisiones de Gases de Efecto invernadero en España 1990-2012”.

³ WWF España 2013.

⁴ “La bolsa de CO₂”. SENDECO.

O obxectivo principal da construción ten que ser levar a cabo a súa actividade favorecendo a máxima redución das emisións atmosféricas posible e empregando solucións máis eficientes, xa que isto leva implícito unha redución do consumo enerxético, tanto no proceso de construción, coma durante toda a vida útil dunha edificación, o que á súa vez, pode propiciar un aforro económico.

A construción é unha das actividades humanas máis devastadoras dende o punto de vista medioambiental. O seu desenrolo consume o 60% das materias primas da litosfera, o 12% da auga e provoca o 50% das emisións de CO₂, tendo en conta a construción e uso das edificacións, a nivel global⁵.

No ámbito europeo, o sector da construción ten unha enorme responsabilidade na actual problemática enerxética e medioambiental, sendo o maior consumidor de enerxía na UE (40%), e o principal contribuínte ás emisións de gases de efecto invernadoiro, sendo o responsable de ao redor do 36% das emisións totais de CO₂.

No ámbito nacional, estudos levados a cabo polo Instituto para a Diversificación e o Aforro da Enerxía (IDAE), mostran que unha terceira parte da enerxía que se precisa no noso país é demandada directamente pola construción, ben sexa no proceso de fabricación dos materiais de construción ou pola demanda enerxética derivada da utilización dos edificios.

Para manter a tendencia de redución de emisións que se está presentando debido ao parón da actividade, é precisa unha remodelación do parque de edificios actual e futuro, tendendo ao emprego de materiais máis ecolóxicos, no sentido en que se reduza o impacto ambiental no seu proceso de fabricación, e empregando sistemas construtivos e medidas arquitectónicas que permitan á súa vez, a redución da demanda enerxética das construcións, fomentando tamén o emprego de enerxías renovables, o que permitirá que os edificios sexan consumidores e produtores de enerxía a un tempo.

Estas medidas téñense que impulsar dende a administración, mediante planificacións enerxéticas estables e fiables a longo prazo, impulsando a posta en marcha de novas instalación de enerxías renovables, mellorando as políticas de innovación tecnolóxica, levando a cabo plans de rehabilitación e modernización dos edificios con criterios de eficiencia enerxética, e incluso incluíndo ao sector da construción nos grupos fiscais verdes, aplicando un imposto ás emisións de CO₂ ou un imposto á eficiencia enerxética.

Vista a influencia que a edificación exerce sobre o total das emisións atmosféricas que se producen en España, é preciso promover e fomentar o estudo dos

⁵ Zabalza, Ignacio. “Adaptación de la metodología de análisis del ciclo de vida para la evaluación y mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España”.

factores que están implicados neste sector, como poden ser levar a cabo estudos do ciclo de vida dos edificios, cálculos da enerxía contida nos materiais de construción, impulso da construción pasiva...

Todas estas ferramentas contribúen ao estudo das consecuencias ambientais da actividade construtiva, e permítenos empregar solucións máis xustas e alcanzar os obxectivos marcados na normativa ambiental.

Para propiciar estas estratexias, é preciso o coñecemento detallado dos impactos ambientais dun produto, considerando como produto un material, unha unidade construtiva ou un edificio completo, sendo necesario dispoñer de información suficiente da carga ambiental de dito produto, que posibilite o avance cara mellores solucións.

Unha vez coñecidos os impactos xerados, pódense formular solucións para conseguir edificios máis eficientes, tanto na construción do edificio en si, empregando materiais que teñan unha pegada ecolóxica menor e que dean lugar a edificios con menor demanda enerxética, coma na etapa de operación, empregando solucións e instalacións que permitan reducir o consumo de enerxía do mesmo.

2 **OBJECTIVO**

O obxectivo principal do presente Traballo fin de Mestrado é poder coñecer e avaliar, dende o punto de vista medioambiental, a repercusión dos distintos materiais ou produtos de construción na edificación actual en España, e máis concretamente en Galicia.

Tendo en conta que a maioría da lexislación que se está a propoñer para conseguir a redución das emisións no noso país, céntrase no feito de reducir o consumo mellorando a eficiencia enerxética dos edificios, esta investigación levarase a cabo sobre os impactos específicos dos materiais que os conforman, para aumentar os campos de actuación á hora de conseguir construcións máis sostibles.

Partindo da base de que neste momento non existe no noso país a información concreta de cada produto e a necesidade de dispoñer da mesma para favorecer o emprego de materiais ou solucións construtivas máis eficientes co medio, farase un estudo centrado no consumo enerxético (enerxía incorporada) dos produtos e nas emisións de CO₂ (carbono incorporado) durante os procesos de fabricación, transporte a obra, vida útil e demolición dun edificio.

Dado que non é posible avaliar tódolos impactos, o estudo céntrase nos que xeran unha maior cantidade de información útil para o usuario. O traballo queda acoutado á investigación das emisións de CO₂ e do consumo das distintas fontes enerxéticas empregadas, durante tódalas fases dun produto. Trátase por tanto dunha análise do ciclo de vida “de berce a tumba” (from cradle to grave).

Debido a que na actualidade non se atopa dispoñible ningunha metodoloxía de cálculo tanto da enerxía como do carbono incorporados, que sexa de consenso internacional e baseada en normativas de aplicación, este traballo pretende desenvolver unha metodoloxía para poder levar a cabo estimacións da enerxía e do carbono incorporado en todo o ciclo de vida de produtos en particular e de edificios no seu conxunto.

En base aos resultados obtidos, preténdese elaborar unha sinxela ferramenta de cálculo coa cal, e a partir da introdución duns parámetros básicos, se poidan coñecer as emisións de CO₂ e a enerxía que se debe repercutir a cada material ou construción.

Así mesmo, para verificar e validar o emprego de dita ferramenta, realizaranse exemplos prácticos, empregándose como base un edificio e unha localización concreta, e cuns datos de subministradores específicos.

3 ESTRUTURACIÓN DO TRABALLO

Como xa se indicou en apartados anteriores, o obxectivo deste proxecto é o de desenvolver unha metodoloxía de cálculo para establecer a enerxía e o carbono incorporados tanto en materiais coma en edificios.

Para elo leváronse a cabo distintas etapas de traballo mediante as cales se obtivo a información suficiente como para poder proceder ao desenrolo da mesma.

A obtención dos resultados finais foi posible grazas á estruturación do proxecto e a fixación duns parámetros, que permitiron o avance da investigación en base a un guión predeterminado e propiciaron a creación desta metodoloxía.

A busca de información sobre os estudos e investigacións levadas a cabo sobre a enerxía e o carbono incorporados, ademais da análise dos impactos ambientais que afectan ao sector da construción, son procesos que se levaron a cabo para poder completar este proxecto.

A estrutura que se seguiu para a consecución dos obxectivos marcados queda definida como segue:

3.1. ESTADO DA CUESTIÓN

Realízase unha análise da situación actual en materia dos impactos ambientais relacionados co sector da construción, en particular dos que avalían a enerxía e o carbono incorporados nos materiais.

Para elo lévase a cabo unha busca bibliográfica de artigos, teses e traballos de investigación realizados nos últimos anos. A dificultade é máxima, xa que este tema non está moi enfocado no noso país, motivo polo cal, a maior parte da información consultada se atopa en idiomas foráneos.

Por outra banda, ao tratarse dun tema relativamente novo, a información atopada é escasa e está moi fragmentada, co que para conseguir unha boa documentación técnica coa que poder constituír unha base da cal partir a miña investigación, foi unha difícil tarefa.

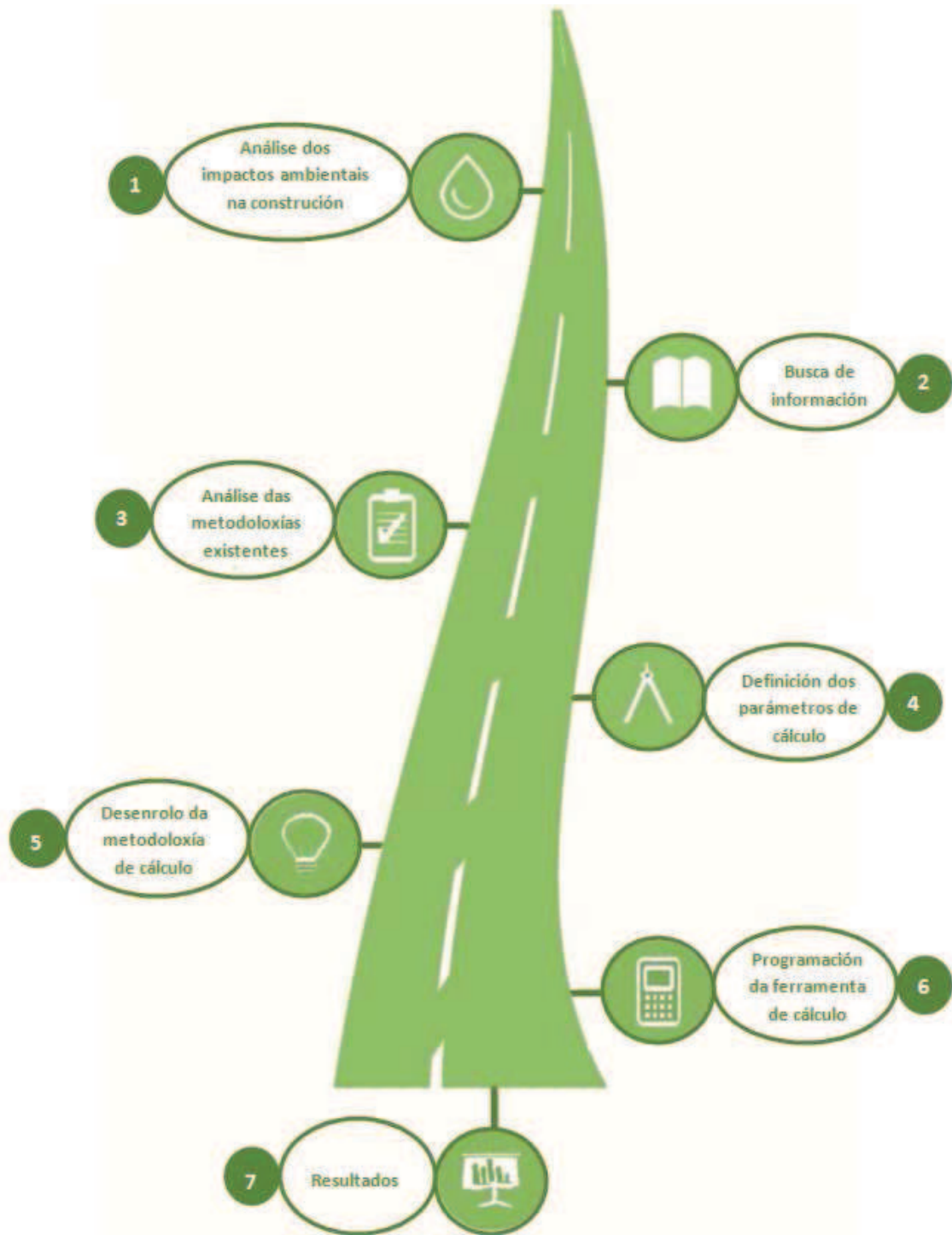


Figura 3.1: Definición da estrutura do proxecto⁶.

⁶ Elaboración propia mediante a aplicación en liña Piktochart.

3.2. METODOLOXÍAS DE AVALIACIÓN DO IMPACTO AMBIENTAL

Fíxose un estudo das metodoloxías de cálculo existentes, que levan a cabo análises dos distintos impactos ambientais no ámbito da edificación, sendo as máis comúns, a análise do ciclo de vida, o cálculo da pegada de carbono ou a notificación das emisións de gases de efecto invernadoiro a través dos distintos protocolos internacionais.

De acordo coas fontes bibliográficas consultadas, na actualidade a maioría das metodoloxías que analizan o impacto ambiental e que ofrecen información medioambiental dun produto, servizo ou sistema obtéñense da realización da análise do ciclo de vida (ACV), conforme á normativa que a regula (ISO 14040 e 14044).

Cabe destacar que, de acordo coas fontes consultadas, a realización dun ACV completo de calquera produto é unha labor que para obter resultados fiables require da disposición de moitos recursos, tanto materiais como de tempo. Ademais, a información que se proporciona non é sempre entendida axeitadamente, se non se teñen coñecementos previos en materia ambiental.

A información aportada por estas metodoloxías, serve de base para o desenvolvemento desta propia, que é a que se propón con este proxecto e está centrada na estimación da enerxía e do carbono incorporados.

3.3. DEFINICIÓN DOS PARÁMETROS DE ESTUDO

Unha vez analizadas as metodoloxías de aplicación actual, e centrados os obxectivos a lograr, o seguinte paso que se levou a cabo foi a definición dos parámetros a incluír no estudo metodolóxico.

Dentro destes, englábanse os consumos de fontes enerxéticas e emisións que se producen nas distintas fases do ciclo de vida dos produtos: extracción das materias primas, transporte á fábrica, procesamento, transporte á obra, instalación, mantemento e retirada unha vez finalizado o período de uso dos mesmos.

Tamén quedan definidos os procesos e tipos de emisións contaminantes que se analizan, que neste caso, son as que teñen como resultado unha emanación de CO₂ a atmosfera, tanto por combustión, coma por modificacións químicas das substancias.

Unha vez definidos todos os parámetros que se contemplarán nos estudos da enerxía e do carbono incorporados, pódese proceder a desenvolver o proceso de cálculo.

3.4. DESEÑO DA METODOLOXÍA DE CÁLCULO

Unha vez finalizada a definición dos datos a empregar, comeza o proceso creativo mediante o cal, se diseña unha metodoloxía de cálculo específica e innovadora, que pretende analizar a enerxía e o carbono que se incorporan nos produtos de construción e nos edificios.

Para elo, establécese unha formulación de cálculo a través da cal, e introducindo os parámetros recollidos polas distintas empresas, proxectistas ou técnicos, permite a obtención dos resultados desexados.

As fórmulas aportadas por esta metodoloxía foron deseñadas específica e concretamente para ela, partindo dos datos dos que se dispón e tendo en conta os valores que se queren alcanzar.

Ademais da formulación específica, foi necesario o establecemento duns parámetros de emisión correspondentes a cada fonte enerxética, para poder levar a cabo a estimación final da enerxía e do carbono incorporados.

3.5. PROGRAMACIÓN DA FERRAMENTA DE CÁLCULO

Cando se finalizou o desenvolvemento da metodoloxía específica obxectivo deste proxecto, veuse necesaria a realización dunha ferramenta informática que permitise obter os resultados de enerxía e carbono incorporados dun xeito máis práctico e sinxelo, e que ademais, permitise a divulgación da metodoloxía nos distintos medios.

Esta deseñouse en Excel, un formato sinxelo e accesible a tódalas persoas que o desexen, xa que a maioría dos sistemas operativos actuais, teñen soporte para este tipo de arquivos.

A mesma aplicación inclúe as indicacións dos datos que son requiridos para realizar o cálculo, e as instrucións precisas para o manexo da ferramenta.

Esta presenta un formato intuitivo en forma de táboas, nas que se cumprimentan as diferentes celas para obter os resultados finais. Estes ofrécense tanto en valor numérico global para un edificio completo, coma por m² de superficie construída do mesmo. Ademais, tamén é posible obter os resultados de enerxía e carbono incorporados dun produto en concreto, non só do edificio no seu conxunto.

O obxectivo desta aplicación informática non é outro que o de aplicar de xeito directo a metodoloxía desenvolvida e fomentar o coñecemento e divulgación da mesma.

3.6. EXEMPLO DE APLICACIÓN

Para dar unha visión xenérica das capacidades de análise da metodoloxía e ferramenta deseñadas neste proxecto, levouse a cabo un exemplo directo de aplicación en casos reais e definidos, dentro do ámbito da construción.

Os valores obtidos están referidos a un proxecto en concreto, xa que os datos de enerxía e carbono incorporados están finamente cinguidos aos consumos de transporte, que dependen na súa totalidade das distancias recorridas.

Para finalizar coa investigación, realizouse unha comparativa entre os datos obtidos ca metodoloxía desenvolvida, que presenta uns parámetros de cálculo definidos, con outras técnicas de análise, principalmente doutros países, para verificar a diferenza que se produce en canto aos consumos e emisións dun produto dependendo de en que lugar se fabrique ou instale.

3.7. CONCLUSIÓNS E FUTURAS LIÑAS DE INVESTIGACIÓN

Unha vez finalizado todo o proceso de elaboración da metodoloxía e da ferramenta de cálculo, que fai posible a súa aplicación, e en base aos resultados finais obtidos nos exemplos aportados, expóñense as conclusións máis destacables, extraídas dos datos do traballo.

Estas están derivadas da comparación entre os resultados obtidos de enerxía incorporada e carbono incorporado empregando a metodoloxía propia cos resultados que ofrecen outras metodoloxías e o uso doutros parámetros de aplicación.

Ademais, establécense futuras liñas de investigación fomentadas a partir dos resultados, dificultades e posibles carencias que presenta o desenvolvemento desta investigación.

4 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PRODUTOS DA CONSTRUCCIÓN

Neste capítulo analizaranse os principais impactos ambientais da produción de materiais da industria da construción, intentando establecer que a diminución destes depende da transformación do sistema produtivo dominante, dunha secuencia lineal baseada na extracción - fabricación - residuo, que o caracteriza na actualidade, cara ao ciclo baseado en reciclaxe - fabricación - reciclaxe, que debería caracterizalo no futuro.

Tódalas etapas da vida dun produto xeran impactos ambientais e, polo tanto, debe facerse unha abordaxe de ciclo de vida, dende o "berce á tumba", o cal implica unha análise de todos os procesos involucrados na produción, no uso e na disposición final. Polo tanto, debe analizarse a extracción das materias primas, a fabricación, incluír o transporte, operación e mantemento e, en última instancia o reciclado e a xestión de residuos. É necesario actuar de forma integral sobre a cadea de produción que seguen os produtos.

No estudo dos materiais utilizados no sector da industria da construción, as investigacións en produtos deben ser orientadas para facilitar a análise dos impactos ambientais involucrados en todo o seu ciclo de vida, para desta forma facer posible a selección das mellores opcións ambientais e, mediante ferramentas de software e bases de datos, permitir a incorporación da análise de ciclo de vida na planificación da rutina e do proxecto das construcións.

Toda interacción física entre un edificio e o seu ámbito se realiza en termos de fluxos de materia e enerxía, que pode ser vista como unha cadea de transformacións físicas. A secuencia de transformacións adóitase analizar como cargas ambientais ou efectos ambientais. As cargas sobre o ambiente preséntanse en forma de emisións gasosas, sólidas e líquidas, e consumo de recursos naturais. Os efectos ambientais son as súas consecuencias inmediatas, que se caracterizan como a primeira reacción do sistema ambiental.

Durante as primeiras etapas do ciclo de vida dos materiais de construción (extracción de materias primas e fabricación destes) conséntase a xeración de impactos ambientais, que podemos agrupar en tres conxuntos: consumo de recursos naturais, xeración de residuos, e consumo de enerxía e emisións.

A continuación preséntase unha táboa resumo dos impactos ambientais que se producen durante o ciclo de vida dos materiais de construción.

CICLO DE VIDA			
PRODUTO DA CONSTRUCCIÓN	PRODUCCIÓN DE MATERIAIS	USO, MANTEMENTO, REFORMA	DEMOLICIÓN, RECICLAXE, DEPOSICIÓN
IMPACTOS AMBIENTAIS			
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de enerxía e recursos nos procesos de produción e transporte. ▪ Produción de residuos ▪ Emisións aéreas, efluentes líquidos e residuos sólidos ▪ Perda de solo ▪ Impacto visual ▪ Destrucción de ecosistemas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impactos potenciais traspostos ao produto intermedio ou final que o emprega 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impactos potenciais traspostos ao produto intermedio ou final que o emprega
IMPACTOS AMBIENTAIS			
COMPOÑENTE OU ELEMENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de enerxía e residuos nos procesos de produción e transporte ▪ Produción de ruídos ▪ Produción de residuos ▪ Emisións de partículas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de enerxía e recursos nos procesos de mantemento ▪ Produción de residuos ou substancias tóxicas en función dos procesos de mantemento, a súa natureza e vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impactos potenciais traspostos ao produto intermedio ou final que o emprega
IMPACTOS AMBIENTAIS			
EDIFICIO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de enerxía e recursos nos procesos produtivos ▪ Produción de ruídos ▪ Produción de residuos excedentes en obra ▪ Emisións de partículas ao aire ▪ Impacto visual 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de enerxía e recursos naturais ▪ Produción de ruídos en función da natureza de uso e vida útil ▪ Produción de residuos, desfeitos, augas residuais, substancias tóxicas... ▪ Perturbación do entorno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de enerxía nos procesos de demolición ▪ Produción de ruídos ▪ Emisións de partículas ao aire, po ▪ Produción de residuos por demolición ou selección para a reciclaxe ▪ Consumo de enerxía nos transportes, selección ou reciclaxe ▪ Impacto visual
CARGAS AMBIENTAIS			
EMISIÓN AÉREAS – EFLUENTES LÍQUIDOS – RESIDUOS SÓLIDOS			
EFFECTOS AMBIENTAIS			
QUENTAMENTO GLOBAL – DESTRUCCIÓN DA CAPA DE OZONO – ACIDIFICACIÓN – EUTROFIZACIÓN			
IMPACTOS AMBIENTAIS			
REDUCIÓN DA BIODIVERSIDADE			

Figura 4.1: Impactos ambientais producidos durante o ciclo de vida dos produtos de construción¹.

¹ Elaboración propia.

4.1. CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS

Unha das principais causas da degradación ambiental é o consumo de recursos naturais. A explotación destes ten como principal efecto a destrución do capital natural, perda de chan, danos ao paisaxe, hábitats naturais, destrución de ecosistemas, contaminación acústica e atmosférica.

Os recursos naturais poden dividirse en recursos renovables e non renovables. Os renovables caracterízanse por ter un elevado índice de reposición natural, e os non renovables por ter índices mínimos de reposición. O uso sostible dos recursos materiais está unido á capacidade do medio de reproducilos; polo tanto os recursos renovables deben ser explotados tendo en conta os límites biolóxicos de rexeneración e de capacidade de produción da biosfera.

A industria da construción, maioritariamente, utiliza recursos minerais, cuxa explotación implica consumos de materiais, enerxía, auga..., cada vez maiores debido ás súas novas esixencias. Estes recursos minerais de diferentes tipos son explotados de acordo ao modelo produtivo de ciclo aberto, o que se traduce en consumo de recursos non renovables e en xeración de residuos contaminantes.

España registrou ata o 2007 unha extracción desmedida de minerais no sector da construción (gravas, areas e outros áridos para producir cemento e demais produtos). Ese ano xa encabezaba a lista de países europeos en consumo de recursos e materiais por habitante. Gastaba 20,1 toneladas de recursos e materiais por persoa e ano, fronte ás 16,5 toneladas de media da UE². Foi o ano con maior nivel de edificación; o 66% da totalidade de materiais ía destinada a este fin. Non obstante, ao chegar a crise, o consumo de materiais registrou un descenso maior que na UE. Caeu un 18,5% no 2009 e un 8% no 2010, ata colocarse en 14 toneladas “per cápita”, por debaixo da media europea.

Algúns materiais estanse consumindo a un ritmo máis acelerado que a taxa natural de rexeneración, o que implica o seu esgotamento a longo prazo (como por exemplo o petróleo ou o carbón). A consecuencia inmediata é a redución da dispoñibilidade de reservas na natureza. O seu potencial esgotamento pódese ver na diminución de certos almacéns naturais a escala global, rexional ou local. Débese dar prioridade á utilización de recursos que posúan unha maior reserva natural, segundo os índices de explotación actuais.

² “Institut de Ciències i Tecnologies Ambientales ICTA-UAB”.

4.2. XERACIÓN DE RESIDUOS

Os produtos utilizados pola industria da construción inclúen unha variedade moi grande de materiais de diversos tipos, como pedra, madeira, metal, plástico, cerámicos..., obtidos mediante procesos que alteran o medio existente en diversas formas, degradando o medio natural. Posteriormente, estas materias primas, mediante enerxía, en procesos de fabricación, reorganizan a súa forma e a súa estrutura para proporcionar a utilidade desexada do produto final.

Estes procesos de transformación xeran cantidades de residuos e materiais inútiles, restos dos procesos de purificación e configuración, que son devoltos ao medio, a través de varios medios de difusión. Esta dispersión dos residuos de produción de materiais de construción xera impactos ambientais, tales como aumento do efecto invernadoiro natural, debido ás emisións de gases de efecto invernadoiro (GEI), destrución da capa de ozono, acidificación do chan, eutrofización dos ecosistemas, contaminación atmosférica...

Os impactos producidos polos residuos xerados no proceso de fabricación dos materiais utilizados pola industria da construción supoñen boa parte dos impactos ambientais que xera a devandita industria. Actuar sobre os procesos de extracción e fabricación, reducindo os residuos que xeran eliminará parte de os impactos ao medio.

Un residuo pode ser a materia prima dun recurso, se temos a capacidade de rexenerar ese residuo para que estea novamente dispoñible como recurso, evitando así os impactos asociados á súa vertedura. Pechar o ciclo de materiais condúcenos á un terreo máis sostible. Para iso hai dous camiños: o dos materiais renovables onde a biosfera recolle os residuos e convérteos en recursos a través dos seus procesos naturais, e o dos materiais non renovables, realizando unha xestión axeitada dos residuos para reciclalos e convertelos en recursos.

Un material pode ser usado de forma orixinal como foi concibido ou pode ser reciclado. A reciclaxe dun material pode ser realizada en ciclos de produción abertos (o material reciclado é aproveitado nun uso diferente ao orixinal) ou pechados (o material pode empregarse como materia prima para fabricación de materiais semellantes).

Unha segunda oportunidade na utilización de materiais é unha solución que ademais de reducir o volume de residuos na etapa de demolición dunha edificación, minimiza tamén o consumo de materia prima e de enerxía, no proceso de produción de novos materiais. Este aproveitamento é vantaxoso para materiais compostos por recursos non renovables, que posúen un alto custo ambiental de extracción ou para aqueles que consumen grandes cantidades de enerxía no seu procesamento.

4.3. CONSUMO DE ENERXÍA E EMISIÓNS

A enerxía é o parámetro máis importante á hora de avaliar os impactos dos sistemas técnicos no medio, porque intervén en calquera proceso produtivo. Implica consumo de recursos cada vez máis escasos, a medida que se esgotan as nosas reservas de combustibles fósiles, e liberación de emisións contaminantes. As fontes de enerxía consumida varían substancialmente as súas consecuencias sobre o medio, segundo a natureza da fonte enerxética utilizada. As fontes renovables poden ter niveis máis baixos de impacto ambiental e ser máis sostibles a longo prazo.

Coñecer o consumo de enerxía dun determinado proceso permite facer unha primeira valoración ambiental, aínda que non permite distinguir entre enerxías renovables e non renovables.

Os impactos ambientais asociados ao uso de enerxía empregada na fabricación dos materiais de construción e na súa posta en obra, representan un indicador global, xa que os materiais que se empregan para obter enerxía nestes procesos, xeran grandes cantidades de residuos tóxicos.

O gasto enerxético exprésase en MJ, ou no seu equivalente kWh, sendo 1 kWh = 3,6 MJ. O consumo de enerxía pódese traducir en emisións de dióxido de carbono (CO₂), recurso útil para valorar a repercusión ambiental das diferentes fontes implicadas nos procesos. O aumento de CO₂ e de diferentes gases de efecto invernadoiro (GEI), emitidos á atmosfera durante a produción de materiais de construción, eleva a concentración destes, causando un potencial incremento do efecto invernadoiro natural, que dá orixe ao quentamento global.

Na industria da construción, a fabricación de materiais é a principal fonte de emisións de gases contaminantes. A industria do cemento é a maior emisora de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitróxeno (NOx), dióxido de xofre (SO₂) e materiais en suspensión no aire (po), xa que, ademais de usar combustibles fósiles para a xeración de enerxía térmica, acontecen emisións adicionais provenientes dos fornos, equipos mecánicos e vehículos de transporte, que tamén consumen combustibles fósiles. A fabricación do cemento remata sendo responsable do 4,5% do CO₂ emitido á atmosfera por actividades humanas³.

Por outro lado, o aluminio é un dos materiais máis criticados, dende o punto de vista ambiental. Para a súa produción son precisas grandes cantidades de enerxía, ademais de xerar cantidades importantes de residuos durante o proceso de depuración, moi contaminantes, como os electrolíticos que se producen na formación do material.

³ “La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos a partir de materiales de producción nacional”. Virginia Casañas.

Na seguinte táboa, faise unha comparación do consumo de enerxía para a obtención de 1 kg de diferentes materiais empregados na construción, que pretende dar unha idea dos rendementos enerxéticos destes. Introdúcese ademais, a relación enerxía/peso específico:

MATERIAL	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ /kg)	Enerxía/Peso específico (MJ/m ³)
Aceiro virxe	35,40	2,71	0,0037
Aceiro reciclado	9,40	0,44	0,0018
Aluminio xeral	155,00	8,24	0,057
Aluminio reciclado	29,00	1,69	0,0107
Cemento	4,50	0,73	0,0013
Cemento Pórtland 94% Clínker	5,50	0,93	
Cerámica	10,00	0,66	
Formigón	0,75	0,10	0,00031
Ladrillo	3,00	0,23	0,0017
Nailon (poliamida) 300 g/m ²	130,00 /m ²	6,70 (GWP/m ²)	
Vidro plano	15,00	0,86	0,006

Figura 4.2: Comparativa de enerxía e carbono incorporados de distintos materiais de construción⁴.

A información da táboa anterior, correspóndese con datos do Reino Unido. Para España dita información poderá diferir desta ou doutros datos dispoñibles na bibliografía internacional, dado que a enerxía incorporada nos materiais depende da mestura enerxética de cada país, das tecnoloxías empregadas nos procesos produtivos e dos sistemas de transportes utilizados.

Debido á gran preocupación que existe en controlar as emisións contaminantes e controlar o efecto invernadoiro, estanse a desenvolver diferentes investigacións enfocadas a medir a participación da industria da construción no aumento da contaminación do medio. Estudos sobre consumo enerxético, na produción e transformación de materiais de construción e emisións de CO₂, estanse levando a cabo en diferentes países, como Nova Zelandia, Xapón, Australia e India.

A nivel rexional os datos referidos ao consumo enerxético e emisións de CO₂ na produción de materiais especificamente, son temas intrínsecos das propias industrias e non de investigacións realizadas por distintas institucións. Ademais, moitos dos materiais que se consumen na industria da construción son importados, o que implica o agregado dun percorrido estendido de transporte, que achegará tamén, emisións á atmosfera.

⁴ “Inventory of carbon and energy (ICE)”. Universidade de Bath.

4.4. CONSUMO DE ENERXÍA EN ESPAÑA

O sector da enerxía en España supón aproximadamente un 2,5% do PIB do país, pero a súa importancia vai máis alá da súa participación na produción total, posto que é un sector estratéxico do que necesitan todas as ramas da actividade económica, e esta é necesaria para calquera clase de produción de bens e servizos. Precisamente un dos elementos que limitou o desenvolvemento económico de España foi a pobreza de recursos enerxéticos, en concreto a carencia de hidrocarburos líquidos e gasosos e a mala calidade e carestía do carbón existente.

A escaseza de recursos condenou tradicionalmente ao sistema enerxético nacional a unha situación de déficit e dependencia exterior. O grao de abastecemento propio de enerxía primaria (relación entre a produción interior e o consumo total de enerxía) sitúase nas dúas últimas décadas entre o 20 e o 25%, o que supón que aproximadamente o 75% da enerxía consumida é importada do exterior⁵.

4.4.1. Características principais do sector enerxético

O Balance Enerxético Nacional achega información sobre a composición da mestura enerxética, desagregada por fontes e consumo. Contabiliza o consumo de enerxía que ingresa ao sistema socioeconómico, que transformacións sofre para a súa utilización e como se consume esta, expresando estes fluxos en toneladas equivalentes de petróleo (tep).

A enerxía final consumida polos sectores socioeconómicos (residencia, industria, transporte, agro, pesca, minaría, comercio e servizos) está constituída polo total da enerxía primaria e a enerxía secundaria. Unha fonte de enerxía primaria é aquela que provén dos fluxos da natureza en forma directa, como a hidráulica e eólica, a que atravesan un proceso mineiro (hidrocarburos, carbón mineral, gas natural), ou o resultado da fotosíntese (leña e residuos de biomasa). As fontes de enerxía secundaria son produtos enerxéticos resultantes de diversas transformacións das fontes primarias, que implican un cambio nas súas características iniciais, a través de procesos químicos, físicos ou bioquímicos.

O total da enerxía primaria e secundaria consumida polos sectores socioeconómicos constitúe a enerxía final. No proceso de transformación da enerxía, así como no seu transporte prodúcense perdas, polo que a enerxía final é menor.

Na actualidade en España a enerxía que se xera provén maioritariamente da produción eólica, hidráulica e nuclear. A enerxía que ten a súa orixe no carbón, gas natural (ciclo combinado) e fuel - gas, non representa máis do 10% do total producido.

⁵ Datos ofrecidos polo Ministerio de Industria, Turismo e Comercio.

A análise do balance mensual da produción de electricidade ofrece os datos de produción e demanda totais peninsulares para cada mes do ano. O derradeiro informe publicado, correspondente ao ano anterior (2013), presenta as porcentaxes de produción das distintas tipoloxías enerxéticas reflectidas na seguinte figura.

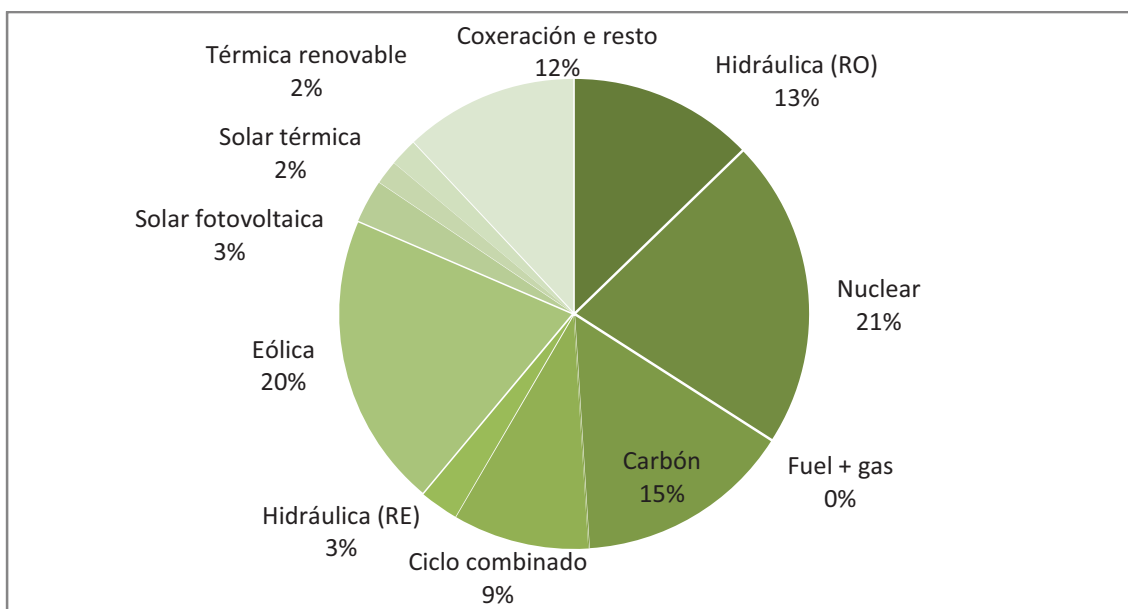


Figura 4.3: Balance enerxético de produción eléctrica en España⁶.

O balance eléctrico peninsular do ano 2013 mostra unha cobertura da demanda do 21% cuberto con enerxía nuclear, seguido do 20% con enerxía eólica, o 16% con enerxía hidráulica, o 15% con centrais térmicas de carbón e o 12% con coxeración e resto.

En relación á produción de enerxía de orixe renovable, no ano 2013 xerouse, segundo datos de REE, un total de 54.338.000 MWh con enerxía eólica, 33.970.000 MWh con enerxía hidráulica e 7.915.000 MWh con enerxía fotovoltaica. Na súa totalidade, as enerxías renovables supuxeron o 43% do total producido.

A principal vantaxe desta mestura enerxética, no que as renovables teñen un gran peso, é que estas son tecnoloxías limpas que proveñen de fontes renovables autóctonas, e non producen emisións de gases de efecto invernadoiro, polo que combaten o cambio climático, reducindo ao mesmo tempo, a nosa dependencia enerxética exterior de compra de combustibles fósiles (principalmente petróleo e gas natural) e evita a compra de dereitos de emisión de CO₂.

⁶ Elaboración propia a partir dos datos ofrecidos pola Rede Eléctrica de España.

4.4.2. Consumo de enerxía na Industria da Construción

O estudo do consumo enerxético na industria da construción é un compoñente esencial da análise global dos procesos de produción industrial. O coñecemento dos diferentes tipos de combustibles utilizados na industria, e a orde de magnitude de consumo, de cada un deles, é un aspecto clave da análise industrial, non só pola importancia da utilización dos produtos enerxéticos nos procesos de produción, senón, tamén, dende un punto de vista enerxético, para o coñecemento da demanda final de enerxía e das súas posibles implicacións ambientais.

A enerxía empregada no proceso de transformación dos produtos de construción tradicionalmente proveu de fontes non renovables, normalmente de combustibles de tipo fósil como o carbón ou o petróleo, cunha repercusión negativa no medioambiente, cobrando nos últimos anos cada vez máis relevancia a valorización enerxética, ou a substitución de combustibles fósiles por combustibles derivados de residuos con alto poder calorífico, e enerxías limpas renovables.

4.4.3. Xeración de CO₂ de sectores ligados á Industria da Construción

O informe de emisións de gases de efecto invernadoiro en España 1990 – 2012, publicado por WWF en 2013, detalla con claridade a evolución das emisións no noso país durante o citado período.

En 2012 as emisións de gases de invernadoiro diminuíron un 1,9% respecto ao ano anterior, pasando de 350,5 millóns de toneladas de CO₂ equivalente a 343, 9 millóns de toneladas. Despois do descenso experimentado en 2012, as emisións alcanzan un incremento respecto do ano base do Protocolo de Kioto do 18,7%.

O ano 2012 é o ano no que finalizaba a primeira fase do Protocolo de Kioto e polo tanto cando se avalía o cumprimento dos países con respecto aos obxectivos comprometidos baixo o devandito acordo. No caso de España, o compromiso supón que a media das emisións de gases de invernadoiro (GEI) no período 2008-2012 non pode superar en máis dun 15% as do ano base 1990.

No período 2008-2012 España emitiu 1.804.623.880 toneladas de CO_{2eq}, é dicir, un exceso de emisións de 138.427.951 toneladas de CO_{2eq}. Isto supón unha media anual de 360.924.776 toneladas, que representa un 24,5% de incremento, superando así o 15% asignado. Este excedente foi adquirido por dúas vías: a mellora da xestión dos sumidoiros forestais e a adquisición de dereitos de emisión de outros países que si cumpriron cas súas limitacións, facendo uso dos mecanismos de flexibilidade.

O descenso das emisións de gases de efecto invernadoiro no ano 2012 pode imputarse en boa parte á crise económica, que supón para ese ano unha moderación importante no consumo de electricidade e no uso do vehículo privado e no transporte de mercadorías.

As maiores emisións débense á xeración de electricidade e ao transporte por estrada. O resto corresponde ás dez refinarías de petróleo, consumos enerxéticos da industria, transporte aéreo interior (non inclúe o transporte aéreo con outros países), usos residenciais (sobre todo calefacción e auga quente sanitaria) e servizos.

A construción paralizouse en boa medida, as vendas de automóbiles reducíronse á metade, o paro pasou de menos de dous millóns a máis de seis millóns de persoas, o consumo de electricidade caeu un 1,2% en 2012, a demanda de gas natural en España descendeu, ao igual que o consumo de carburantes e o consumo de cemento caeu a 13 millóns de toneladas en 2012.

Enerxía consumida polo transporte

Durante o ciclo de vida dunha edificación o transporte está presente en case todas as etapas. Intervén en dous momentos básicos do proceso de construción: o traslado das materias primas, dende o lugar de extracción ata o da fabricación dos produtos e o traxecto que realizan estes últimos, dende a fábrica ata o sitio onde se encontra a obra a construír.

Algúns dos materiais de construción son importados dende sitios como Brasil, Arxentina e China, causando, moitas veces o seu transporte, un consumo enerxético maior que o necesario para a súa fabricación. O problema do transporte é que resulta difícil de cuantificar, dada a grande dispersión de orixe dos produtos dispoñibles.

Outra etapa onde intervén o transporte de forma significativa, é no traslado dos traballadores, tanto do traslado dos traballadores á fábrica, como o traslado á obra.

As emisións no transporte creceron un 43,7% entre 1990 e 2012 en España e supoñen o 21,7% do total, a pesar da crise económica. No transporte por estrada as emisións estiveron desbocadas ata 2007, pero dita crise económica freounas en seco dende 2008.

5 ENERXÍA INCORPORADA & CARBONO INCORPORADO

O cambio climático é un dos problemas máis serios a nivel global, e a enerxía requirida para construír edificios é un dos maiores compoñentes no cómputo global de emisións producidas; o 50% do total das emisións mundiais proveñen dos edificios. Ademais, a parte do cambio climático, as nosas reservas de enerxía fósiles son limitadas, e as enerxías renovables soas son insuficientes para ser a resposta á redución das emisións de dióxido de carbono, e evitar posibles problemas futuro de abastecemento (“lights going out”).

Para poder reducir as emisións de CO₂, é preciso realizar análises dos edificios, para saber cáles son os factores que máis influen á hora de contaminar. Mediante a análise do ciclo de vida completo dun edificio podemos determinar ditos factores, e mediante a análise dos materiais de construción, podemos obter datos de consumo de enerxía e recursos que nos permitirán realizar a estimación total de impacto ambiental dos mesmos.

No proceso construtivo a elección dos materiais para a construción é de primordial importancia, xa que desta elección depende en boa medida a relevancia do impacto que provoca un edificio sobre o ambiente.

Aos materiais e sistemas construtivos atribúeselles un rol substancial no incremento dos impactos ambientais producidos polas obras arquitectónicas. Moitas veces a elección entre os diversos materiais é realizada só a partir de datos técnicos e dunha análise de custos de compra.

É necesario entón introducir outros parámetros fundamentais para unha completa visión ecolóxica do argumento, parámetros que se vinculan directamente coa enteira vida da construción, poñendo no centro da atención o ciclo de vida completo dos materiais e a súa relación co ambiente.

Materiais aparentemente similares por custo e prestacións teñen en realidade custos de produción en moitos casos moi diferentes (tendo en conta os custos enerxéticos e a cantidade de contaminantes xerados na fase de produción). A extracción de materias primas provoca a diminución dos recursos. A produción e o transporte dos materiais consume enerxía e provoca emisións. Os residuos que se xeran ao finalizar a súa vida útil provocan, á súa vez, problemas de contaminación de solos e augas.

Ademais destes factores é preciso considerar o impacto xerado pola fase de uso dos edificios.

Durante todo o ciclo de vida os materiais utilizados teñen un impacto ambiental de distintas magnitudes e estes efectos dependen da natureza dos materiais e do xeito en que estes son utilizados.

A elección debe entón ter en conta o ciclo de vida completo do edificio: a explotación de materias primas, a súa transformación, a súa posta en obra, a súa demolición e a súa reciclaxe. É necesario verificar a enerxía consumida en cada unha destas pasaxes, recordando que non existe un material ecolóxico por excelencia. A elección dos materiais debería considerar ademais as producións locais, de tal xeito que se limiten os transportes e se valoricen as economías e recursos humanos locais.

5.1. ENERXÍA INCORPORADA

A enerxía incorporada defínese como a enerxía final total, medida en kWh, consumida directa ou indirectamente nos procesos asociados cun produto ou servizo e durante todo o seu ciclo de vida. Isto inclúe todas as actividades levadas a cabo na extracción da materia prima, na fabricación dos produtos, no transporte, na construción, durante o mantemento e ao final da vida útil¹.

O “Inventory of carbon and Energy”, emprega esta mesma definición pero só aplicada ós procesos englobados dentro do ámbito de “berce a porta” e para enerxía primaria, desestimando o resto de fases construtivas e as perdas enerxéticas que se producen no transporte, debido á complexidade na obtención de datos fiables.

Este dato proporciona un valor comparativo entre distintos produtos ou solucións construtivas, que permitirá aos proxectistas escoller materiais cun menor impacto, reducindo así as emisións que se producen no ciclo de vida dun edificio.

En base a definición aportada, os produtos que teñan un proceso produtivo no que se requira pouca transformación do material ou que as materias primas precisas se atopen en zonas preto da fábrica, terán valores de enerxía incorporada menores ca no caso contrario, materiais que precisen de grandes procesos de transformación ou cuxas materias primas se atopen lonxe das instalacións de produción.

Os materiais con menos enerxía incorporada son os áridos, seguidos polo cemento, a cerámica e a madeira. Os metais e o vidro son produtos con valores altos de enerxía incorporada debido á extracción e produción, pero tendo en conta o transporte, a cousa cambia, sobre todo cos materiais máis pesados e aqueles cuxas fábricas estean máis afastadas da obra.

¹ Elaboración propia a partir da información aportada no documento “A method and tool for cradle to grave embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards”.

5.2. CARBONO INCORPORADO

O “embodied carbon” ou carbono incorporado, defínese como a suma de tódalas emisións de CO₂ que se producen durante todo o ciclo de vida dun produto, expresadas en termos de Kg de CO₂. Isto inclúe todas as emisións contaminantes que provocan a extracción das materias primas, o procesamento de ditas materias primas en produtos, o transporte dos produtos á obra, a instalación do material, o mantemento e a retirada dos mesmos ó finalizar a súa vida útil².

5.3. FASES CONTEMPLADAS NA ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

5.3.1. Extracción da materia prima

A materia prima, xeralmente un mineral, extráese normalmente da codia terrestre. Pode ser tamén extraída do subsolo, como é o caso do petróleo, orixe de todos os plásticos. Rara vez esta extracción será renovable, no mellor dos casos será substituíble, aínda que a nova normativa fomenta o emprego de produtos reciclados.

As minas esgótanse, a codia terrestre é limitada. A materia máis doadamente recuperable de todas é a terra, usada en cru, como tapia ou adobe. Outros materiais, como o cinc, ou o cobre, son tan escasos que, ao ritmo actual de consumo, queda dispoñibilidade en todo o planeta para 20 anos. Cando o material é abundante, como as gravas, sílices ou áridos para o formigón, queda o dano e a cicatriz da explotación de canteiras, a transformación do terreo, do hábitat, do ciclo hidrolóxico e os prexuízos a especies animais autóctonas.

Normalmente, os ciclos de reposición e capacidade de renovación das materias primas que alegremente consumimos son enormemente longos e insubstituíbles, cando non inexistentes.

5.3.2. Transporte á fábrica

Analízase os consumos de combustibles e as emisións de CO₂ producidos durante o desprazamento das materias primas dende o punto de extracción ata o punto de transformación.

O peso dos produtos e a distancia á fábrica, inflúen de xeito considerable á hora de computar os impactos provocados.

² Elaboración propia para esta metodoloxía de cálculo.

5.3.3. Primeira transformación

As materias primas que empregamos son transportadas ata unha industria na que se transforman. Do mineral de bauxita extráese o aluminio; o mineral de ferro transfórmase en aceiro; o petróleo en derivados varios, e así unha longa lista de materiais. O seu transporte contribúe á contaminación da atmosfera nunha certa proporción, en función do seu peso.

Outros danos, como as mareas negras que provoca o transporte de petróleo e os seus graves custos deberían ser incluídos neste capítulo. O transporte é o sector máis contaminante de todos, e a construción é o obxectivo de grande parte deste trasfego de mercadorías.

A industria do aceiro, a siderurxia e a industria pesada, grandes consumidoras de enerxía, están moi relacionadas con materiais destinados á edificación, na que ademais se engaden cantidade de aditivos para asegurar e mellorar as características intrínsecas do material. Cada material, nesta transformación, ten o seu peculiar comportamento no que respecta ao seu potencial contaminante e daniño. Unha simple comparación entre o ferro fronte á madeira, por exemplo, indícanos a diferente achega á contaminación ambiental nesta fase duns materiais fronte a outros.

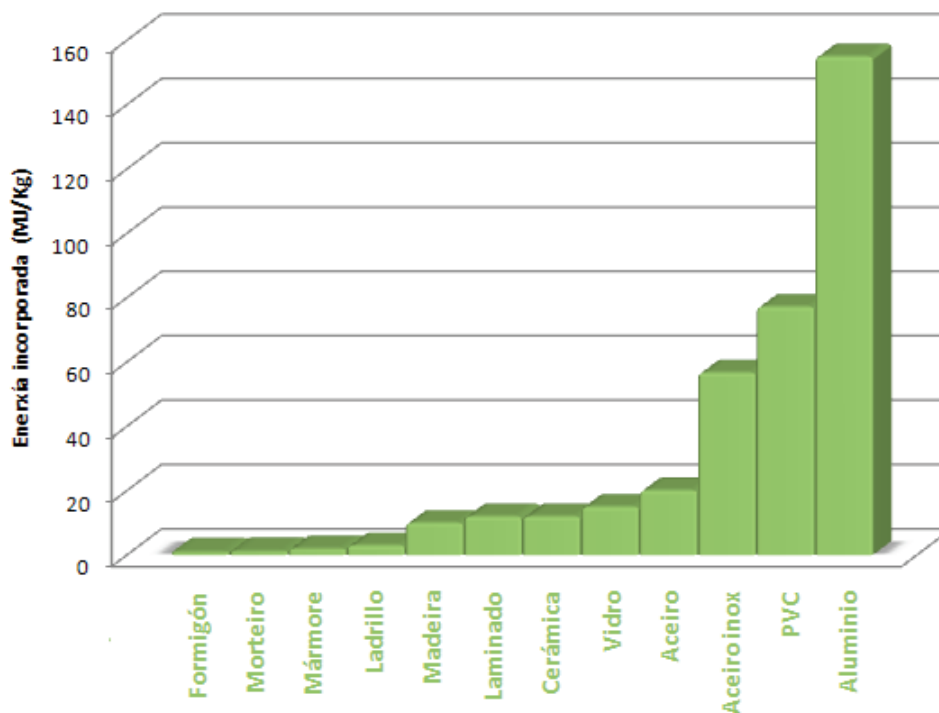


Figura 5.1: Enerxía incorporada en distintos materiais de construción (MJ/Kg)³.

³ “Midiendo la cantidad de energía que usan los materiales”. Proyecta verde. Arquitectura sustentable.

O aluminio é un material cun gran contido enerxético, non obstante a utilización en marcos de carpintarías fai que a incidencia total na obra sexa baixa, xa que a cantidade empregada é moi reducida con respecto á totalidade da obra.

A madeira posúe un moi baixo contido enerxético (isto pode variar considerando o transporte necesario para a posta en obra) polo cal é un excelente material para construír calquera parte da obra, en realidade, canto máis madeira, mellor.

5.3.4. Segunda transformación

Algúns produtos requiren dunha segunda transformación industrial, que converte o material en elemento construtivo. O aceiro lamínase, o aluminio convértese en perfís de diferentes seccións... Nesta etapa se engaden outros metais ou elementos químicos para mellorar as súas prestacións, que á súa vez terán unha carga ambiental engadida.

Esta fase achega novamente a súa carga de transporte, tamén contaminante. Á súa vez, o proceso de transformación necesita de gran cantidade de enerxía para o seu funcionamento, normalmente de orixe fósil. Ademais, a súa fabricación produce residuos e refugallo, algunhas veces de posible nova utilización nun segundo proceso industrial, e outras veces botados a vertedoiro.

Ao finalizar esta fase, obtemos produtos que xa están listos para a súa comercialización. Ata este punto engólbase o impacto que analiza o ámbito do “berce a porta”.

5.3.5. Transporte á obra

Analízanse os consumos de combustibles e as emisións de CO₂ producidos durante o desprazamento dos materiais de construción dende a fábrica ata o emprazamento da obra.

O peso dos produtos, a distancia e o tipo de combustible empregado inflúen de xeito considerable á hora de computar os impactos provocados.

É preferible fomentar o emprego de produtos locais para evitar impactos innecesarios en materia de desprazamento, xa que por unha banda, aumenta o carbono incorporado na edificación final, e por outro lado, se encarece o prezo do produto.

5.3.6. Proceso construtivo

Durante o proceso construtivo requírese do emprego de enerxía para poñer en marcha os equipos precisos para a execución da obra (grúas, escavadoras, maquinaria...), o que á súa vez provoca un consumo enerxético, que se inclúe no cómputo de emisións contaminantes. Estes impactos teñen que ser cuantificados e engadidos ao valor de carbono incorporado do edificio final.

Ademais, o proceso construtivo require doutros materiais secundarios para a fixación e colocación, á súa vez consumidores de enerxía e produtores de contaminación.

Debe incluírse tamén na avaliación, como afecta, en condicións de traballo, a calidade do aire interior do espazo no que será colocado, así como a súa influencia na saúde de ocupantes e traballadores.

Resulta conveniente distinguir dous compoñentes fundamentais na forma construída: a natureza física da materia empregada e a xeometría adoptada por esta última. O custo enerxético de fabricación dependerá esencialmente da cantidade de material utilizado e da súa natureza, así como da duración xeral da construción.

Analizando por capítulos o emprego da enerxía para a construción dos edificios, apréciase que a estrutura é a parte que maior repercusión ten no consumo enerxético da vivenda, seguido da albanelaría e do capítulo das carpintarías.

PROPORCIÓN DO GASTO ENERXÉTICO	
Estructura	43,25%
Albanelaría	23,75%
Carpintaría	11,10%
Σ	78,1%

Figura 5.2: Análise do consumo enerxético por capítulos⁴.

En base á tipoloxía das edificacións, o consumo de enerxía varía dependendo da superficie de vivenda con relación á superficie construída, xa que a maior superficie de vivenda, maior custo enerxético.

Na construción de vivendas colectivas apréciase que o consumo enerxético é un 52% menor ca en vivendas familiares. Ademais, nestas últimas acentúase a importancia da estrutura de cimentación nos casos de que a vivenda dispoña de soto. Nese caso a incidencia do devandito capítulo pode ascender ata o 60%⁷.

⁴ Cepeda, Mikel. “Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización”.

PROPORCIÓN DO GASTO ENERXÉTICO	
Colectivas	2.944 MJ/m ²
Pegadas	5.311 MJ/m ²
Familiares	5.873 MJ/m ²

Figura 5.3: Análise do consumo enerxético por tipoloxía construtiva⁵.

Ao longo do proceso construtivo prodúcense certas cantidades de residuos que é importante contabilizar, xa que terán que ser tratados para ser reciclados na mesma obra ou ser transportados a vertedoiro ou a centros de valorización, o que implicará en ámbolos casos, un impacto ambiental engadido en tratamento e transporte.

Os residuos das obras de construción poden ter diferentes orixes: a propia posta en obra, o transporte interno dende a zona de abasto ata o lugar específico para a súa aplicación, unhas condicións de almacenaxe inadecuadas, embalaxes que se converten automaticamente en residuos, a manipulación, os recortes para axustarse á xeometría...

5.3.7. Fase de operación do edificio

Ao longo da vida dun edificio, vese necesario realizar tarefas de mantemento dalgún dos compoñentes ou sistemas do edificio. Ademais, é necesaria a substitución de aqueles elementos que presentan un período de vida inferior ao do propio edificio, como poden ser instalacións de fontanería, equipos de acondicionamento e aqueles elementos que presenten danos ou roturas.

Tamén son requiridas outras tarefas de preservación, como poden ser a limpeza de fachadas e caneiros de recollida de augas, pintado dos cerramentos exteriores e paramentos interiores, vernizado ou pulido de solos...

Todas estas actuacións levan asociadas consigo un impacto ambiental, reflectido no consumo de enerxía para a operación da maquinaria precisa e un consumo de materiais para a reposición. Estes impactos teñen que quedar recollidos no valor de enerxía e carbono incorporados da edificación.

5.3.8. Fin de vida útil do edificio

Unha vez rematada a vida dunha construción, non queda por finalizada a súa pegada ambiental, xa que é preciso demoler a mesma, o que produce unha serie de

⁵ Cepeda, Mikel. “Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización”.

residuos, que dependendo do material, teñen mellores propiedades á hora do seu reciclado.

A industria da construción e demolición é o sector que máis volume de residuos xera, sendo responsable da produción de máis de 1 tonelada de residuos por habitante e ano.

Unha vez desbotado ou fóra de uso, o destino do material debe ser previsto, pois pode ser tamén unha importante fonte contaminante. Outra vez hai transporte, ca súa correspondente carga de contaminación. A maior parte dos elementos van a vertedoiros, altamente problemáticos, onde a súa cremación produce gases tóxicos non controlados.

Algúns materiais, os menos, son biodegradables. Hai elementos que se poden reciclar, como o aluminio e o aceiro. Outros son utilizables de novo en certa proporción. Isto esixe, por suposto, unha demolición selectiva ou desmantelamento coidadoso do edificio.

A reciclaxe de calquera material é tamén susceptible de consumo de enerxía en transporte e no seu tratamento para unha segunda vida do material.

Tanto a enerxía incorporada como o carbono incorporado, exclúen a enerxía que se precisa para o funcionamento dos edificios (iluminación, calefacción, refrixeración...). Esta enerxía denomínase enerxía de operación ou carbono operacional.

5.4. CARBONO OPERACIONAL

O carbono operacional defínese como o dióxido de carbono emitido durante a vida útil dun edificio, debido ás cargas reguladas e non reguladas asociadas co uso do edificio. Isto inclúe as emisións procedentes da calefacción, refrixeración, iluminación...

É o consumo de recursos que se produce nunha vivenda para manter unhas condicións de vida mínimas e axeitadas. Dito consumo reflíctese no consumo de auga dos cuartos húmidos e electrodomésticos, no consumo de electricidade para a iluminación e posta en marcha de aparatos, no consumo de combustibles (gas natural, gas butano, electricidade...) para a obtención de auga quente e calefacción,...

O consumo enerxético dunha vivenda tamén depende da tipoloxía construtiva da mesma, xa que algúns estudos⁶ demostran que o custo enerxético das vivendas familiares e pegadas é superior o consumo das vivendas distribuídas en bloque.

Para levar a cabo o cómputo global de tódalas emisións atmosféricas que se producen debido ao consumo enerxético e de recursos nunha vivenda, e obter a pegada de carbono dunha edificación ao longo da súa vida útil, é preciso contabilizar tanto o carbono incorporado nos materiais, coma o carbono operacional no período de uso da vivenda.



Na actualidade o carbono operacional é o que máis contribúe á emisión de gases de efecto invernadoiro en edificios existentes, aproximadamente un 75 – 90% das emisións totais⁷. Soamente entre o 10 – 25% do CO₂ emitido é debido ó carbono incorporado nun produto.

A enerxía directa e indirecta usada nas vivendas e edificios en España provén principalmente da combustión de combustibles fósiles, que contribúen de xeito moi importante á contaminación atmosférica, principalmente anhídrido carbónico, óxidos de xofre e de nitróxeno, compostos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono, óxido nítrico e partículas en suspensión.

As emisións directas dos edificios céntranse sobre todo na actividade de calefacción, mentres que a produción de electricidade nos edificios é unha das grandes fontes de contaminación indirecta.

No futuro, seguindo as pautas que se están a xerar ca nova lexislación ambiental, os edificios serán máis eficientes e produtores de enerxías renovables ao incorporar tecnoloxías de produción eólica, solar... Isto implica que a demanda enerxética dos mesmos verase reducida, polo que a proporción do carbono incorporado con respecto ás emisións totais aumentará, converténdose este nun punto clave a considerar para obter edificios máis sostibles.

⁶ Cepeda, Mikel. “Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización”.

⁷ “A guide to understanding the embodied impacts of construction products”. Construction product association.

5.5. MEDICIÓN DO CARBONO INCORPORADO

A medición de tódolos consumos e emisións que se producen durante a vida útil dun produto é un dato difícil de cuantificar, sobre todo debido o numeroso ámbito de estudo que se define, xa que se producen emisións de gases de todo tipo, existe un consumo de enerxía eléctrica, prodúcense consumos de combustibles na elaboración dos produtos e no transporte...

Isto favorece a adopción dunha unidade de medida común, na que se poidan incorporar todos estes consumos e emisións, podendo así, realizar comparativas de impactos. Este valor defínese como os Kg de CO₂, que por ser un valor común para todas as emisións, denomínase CO₂ equivalente (CO_{2e}).

Escóllese esta valor como estándar internacional debido a que de tódolos gases de efecto invernadoiro, o CO₂ é o que máis contribúe ó cambio climático e o que máis aumentou a súa concentración na atmosfera dende a revolución industrial.

Para medir o impacto medioambiental transfórmanse tódolos gases de efecto invernadoiro recoñecidos polo protocolo de Kioto, á cantidade de CO₂ equivalente.

GASES DE EFECTO INVERNADOIRO	POTENCIAL DE QUENTAMENTO GLOBAL (Kg CO _{2eq})
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido nitroso (N ₂ O)	298
Hexafloruro de xofre (SF ₆)	22800
Perfluorcarburos (PFC)	8860
Hidrofluorcarburos (HFC)	1430

Figura 5.4: Potencial de quentamento global dos GEI⁸.

O CO₂ incorporado nos produtos e materiais está a ser medido de acordo a estándares internacionais aprobados unha vez foron desenvolvidos e examinados, por exemplo os definidos pola norma ISO 14067. Estes estándares definen os métodos e procesos que se requiren nas empresas para cuantificar todas as emisións, ata a finalización do proceso de elaboración do material (“de berce a porta”), e distribúen a tipoloxía de emisións producidas en varios ámbitos.

A continuación defínense ditos ámbitos, que son os que se deben de ter en conta á hora de contabilizar as emisións totais de CO₂ que se producen nunha compañía:

⁸ “A guide to understanding the embodied impacts of construction products”. Construction product association.

- Ámbito 1: emisións directas, debidas ó uso de combustibles no proceso de fabricación dos materiais.
- Ámbito 2: emisións indirectas, producidas polo uso de electricidade.
- Ámbito 3: outro tipo de emisións.

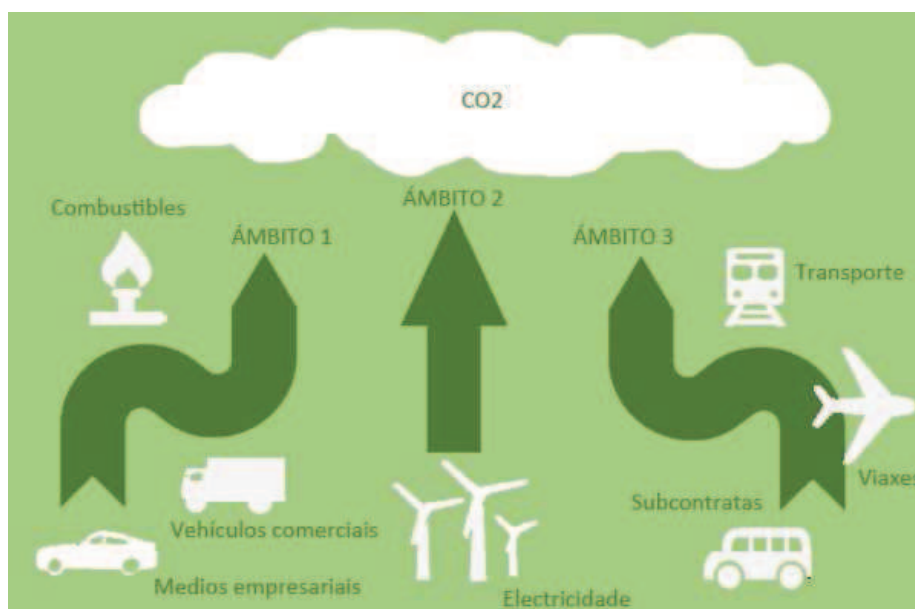


Figura 5.5: Ámbitos de medición das emisións de CO₂⁹.

Á súa vez, estes tres ámbitos teñen incorporados unha serie de requisitos que deben cumprir as empresas que queiran acollerse a este protocolo (como mínimo deben acreditar a cuantificación das emisións referidas aos 7 primeiros bloques descritos a continuación):

1. Combustible

Este apartado inclúe todo o combustible mercado pola organización para o uso dunha planta e da maquinaria que emprega. Cando os materiais se fabrican nunha obra (morteiros, formigón...), o combustible utilizado neste proceso tamén debería ser incluído dentro deste bloque. O combustible utilizado pode medirse utilizando distintas unidades (kWh, litros, kg, m³...) e engloba ós seguintes tipos:

- Gasóleo
- Diésel
- Gasolina
- Fuel oil
- Carbón
- Gas Natural comprimido (CNG)
- Gas Petrolífero licuado (LPG)
- Gas Natural

⁹ Elaboración propia mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

As emisións deberían calcularse utilizando datos o máis reais posible, como pode ser o combustible mercado, e débese empregar un factor de conversión pertinente. Cando a información non é avaliable ou é inviable recoller os datos, o combustible consumido pode calcularse mediante estimación. Isto debería estar baseado nos requisitos de enerxía da maquinaria/planta (potencia), nas horas traballadas e na eficacia da maquinaria. Cando se calculen as emisións desta forma, a compañía debería claramente indicar o método utilizado e suposicións feitas.

2. Combustible dos locais

Inclúe todo o combustible comprado pola organización para uso en locais que sosteñen as actividades da compañía. Isto incluírá oficinas, instalacións de produción, almacéns, almacenamento/mantemento de planta instalacións, e/ou lugares utilizados para asemblea.

3. Proceso e emisións accidentais

Inclúe as emisións de gases de efecto invernadoiro provocadas nos procesos físicos ou químicos implicados na produción de produtos minerais (cemento) e produtos metálicos (aceiro e aluminio) dentro das instalacións posuídas ou controladas pola compañía. Estes deberían ser medidos e comunicados como parte das emisións de fabricación da compañía.

As emisións accidentais son aquelas emisións que se poden producir no aire acondicionado e en fugas de refrixerante nos equipamentos posuídos ou controlados pola compañía. A menos que a actividade refrixerante sexa importante, é improbable que estas emisións sexan significativas.

4. Electricidade

Inclúe toda a electricidade consumida pola organización para uso nun proxecto (incluíndo obras e activos xestionados como edificios e estradas). Se os materiais se fabrican in situ, a electricidade utilizada neste proceso debería ser incluída neste apartado.

Os factores de conversión incluírán calquera fonte de enerxía renovable no mix enerxético, que dependendo da cantidade das mesmas, obteranse máis ou menos emisións contaminantes (a maior consumo de enerxías renovables, menos emisións de CO₂).

5. Electricidade en locais

Inclúe toda a electricidade consumida pola organización no uso dos locais que sosteñen as actividades da compañía. Isto incluírá oficinas, instalacións de produción, almacéns, almacenamento/mantemento de planta instalacións, e/ou lugares que se utilizan para asemblea.

6. Calefacción

Inclúe toda a enerxía empregada pola organización para a calefacción, durante os proxectos ou nos locais da empresa. Deben utilizarse os factores de conversión aportados polo provedor para obter un cálculo acertado das emisións.

7. Combustible dos vehículos

Inclúe todo o combustible pagado pola organización (directamente, ou indirectamente por subsidios de quilometraxe ou gastos) para uso en vehículos que viaxan na autoestrada pública. As organizacións deberían distinguir entre combustible utilizado para viaxes de negocios e o utilizado ao desprazarse ó traballo. Deben incluírse os seguintes tipos de vehículos:

- Vehículos propios da empresa (coches, furgonetas...).
- Vehículos arrendados.
- Vehículos posuídos de forma privada (coches dos traballadores da empresa).

As emisións poden calcularse utilizando factores de conversión de combustible estandarizados, ou cando esta información non está dispoñible, poden empregarse factores de conversión de quilometraxe. Neste último caso os factores de conversión utilizados deben distinguir, como mínimo, entre as seguintes categorías¹⁰:

- Coche estándar, incluíndo vehículos multiusos (kg CO₂/km).
- Furgonetas ata 3,5 toneladas (kg CO₂/km).
- Vehículos pesados de máis de 3,5 toneladas (kg CO₂/km).

Deben empregarse factores de conversión exactos e contrastados para o cálculo das emisións dos vehículos, como por exemplo os ofrecidos polo IDAE, no “Informe de factores de conversión de enerxía final, enerxía primaria e factores de emisións de CO₂”.

¹⁰ “Construction CO₂ measurement protocol”. European network of construction companies for research and development (ENCORD).

8. Transporte público

Inclúe todo o transporte público (avión, tren, autobús, taxi...) utilizado polos empregados, e pagado pola organización (directamente, ou indirectamente mediante subsidios ou gastos).

A información pode obterse a través de enquisas, de polo menos un 10% do persoal das organizacións e cubrindo tódalas áreas de operación. Cos datos resultantes pode establecerse a distancia total viaxada.

9. Subcontratas

As emisións debidas á actividade das posibles subcontratas dunha empresa, tamén deben ser contabilizadas no cómputo global dun proxecto levado a cabo por esta. Os criterios para realizar a medición son os mesmos tanto para a empresa principal, coma para tódalas súas subcontratas.

10. Residuos

Inclúe o CO₂ producido polos residuos xerados como resultado da actividade da organización, incluíndo o transporte dos mesmos a plantas de tratamento de residuos ou de valorización. A medición das cantidades de refugallo ten que ser realizada de acordo con parámetros estandarizados. Estes obrigan, como mínimo, a distinguir entre as diversas fontes de desperdicio (construción, demolición e escavación), e o destino final dos residuos (vertedoiro, incineración, reciclaxe, reutilización).

As emisións deben ser calculadas con factores de conversión estandarizados. Isto quere dicir que deben incluír as emisións equivalentes de CO₂ para os diversos gases producidos como parte do proceso de tratamento (metano producido no vertedoiro).

A través da análise dos puntos citados anteriormente, pódese cuantificar a totalidade das emisións que se incorporan nun produto de construción durante todo o seu ciclo de vida, permitindo obter valores fiables de impactos asociados e poder facer comparativas entre diferentes produtos.

6 ESTADO DA CUESTIÓN

De todos é coñecido que as actividades de construción interveñen no medio ambiente natural empregando os recursos extraídos do mesmo, para o que se require de enormes cantidades de enerxía, tanto para a explotación de canteiras e bosques, como para a extracción de minerais, depositando no ambiente desfeitos e emanacións durante e ao final do ciclo de vida dos produtos e obras, coas conseguintes emisións a atmosfera.

As fontes bibliográficas que se refiren a dito impacto medioambiental remóntanse á década dos setenta, cando se comezou a observar a contaminación atmosférica no ceo dalgunhas cidades, a constatar o esgotamento dos recursos naturais e a verificar o gran custo enerxético requirido para a explotación dalgúns dos recursos máis utilizados, procedentes de fontes non renovables de enerxía.

Nesta década publicábase “The Limits to Growth” (Donella Meadows, 1972), un informe encargado ao MIT, no que a conclusión final foi que se o actual incremento da poboación mundial, a industrialización, a contaminación, a produción de alimentos e a explotación dos recursos naturais continúa sen variación, alcanzaranse os límites absolutos de crecemento na Terra durante os próximos cen anos.

Na década dos oitenta prodúcese o primeiro gran acordo internacional no que se definiu o termo Desenvolvemento Sostible¹, na Comisión Mundial sobre o Medio Ambiente e o Desenvolvemento, creada no marco da Organización das Nacións Unidas (ONU), comunmente coñecido como “Informe Brundtland”.

A partir deste momento, as Nacións Unidas continúan organizando conferencias sobre o medio ambiente e o desenvolvemento a nivel internacional e mundial, entre as que destacan:

- Cumio da Terra (1992): apróbanse os documentos nos que se fala sobre o cambio climático, a diversidade biolóxica e a desertificación.
- Protocolo de Kioto² (1997): adquirense compromisos concretos e un calendario de actuación, para reducir as súas emisións de gases de efecto invernadoiro.
- Cumio mundial sobre o Desenvolvemento Sostible (2002): anunciouse a ratificación do Protocolo de Kioto por varios países.

¹ Desenvolvemento Sostible: “é aquel que satisfai as necesidades das xeracións actuais sen hipotecar a capacidade das xeracións futuras para satisfacer as súas propias necesidades”. Informe Brundtland.

² Nesta primeira fase, quedan excluídos do cumprimento do protocolo de Kioto as grandes potencias emisoras de gases de efecto invernadoiro (EEUU, Australia,...).

- Bali (2007): iniciouse o proceso de negociación para o segundo período de cumprimento do Protocolo de Kioto (2012 – 2020).
- Copenhague (2009): firmouse que o límite máximo para o incremento da temperatura media global sexa 2 °C, pero non se menciona como alcanzar dito límite.
- Cancún (2010): creouse o Fondo Verde para o Clima, co fin de prover financiamento a proxectos e actividades en países en vías de desenvolvemento.
- Durban (2011): os principais países emisores de GEI, acordaron iniciar un proceso que se completará no 2015 e que concluirá cun acordo vinculante de protección climática.
- Doha (2012): establécese o segundo período do Protocolo de Kioto, no cal os estados asinantes se comprometen a reducir as súas emisións, a nivel colectivo, nun 20% con respecto ás de 2005³.

Como podemos observar existen numerosos acordos nos que se fala das emisións de CO₂ como un dos elementos contrapostos ao desenvolvemento sostible, sendo o Protocolo de Kioto o acordo internacional máis relevante, aínda que para que se conseguisen cumprir os obxectivos fixados polo mesmo, España tivo que gastar máis de 1.200 millóns de Euros na compra de dereitos de emisións a outros países⁴.

O sector da vivenda e os servizos, composto na súa maioría por edificios, absorbe máis do 40% do consumo final de enerxía na Comunidade Europea e atópase en fase de expansión, tendencia que previsiblemente fará aumentar o consumo de enerxía, e por tanto, as emisións de dióxido de carbono.

Por estes motivos comezan a aparecer normativas e plans de estudos, tanto a nivel internacional como nacional, encamiñados a propoñer medidas correctoras para minimizar o consumo enerxético nas edificacións, o que implica unha redución da xeración de gases de efecto invernadoiro.

No noso país, desenvóléronse diversos documentos destinados a fomentar o aforro enerxético dos edificios, co fin de cumprir os obxectivos fixados polo protocolo de Kioto:

- Estratexia de Aforro e Eficiencia Enerxética en España (2004 – 2012).
- Plan de Fomento das Enerxías Renovables.
- Código Técnico da Edificación (CTE).
- Regulamento de Instalacións Térmicas nos Edificios (RITE).

³ O protocolo de Kioto só ten que ser cumprido polos países que o ratifiquen. Unha vez iniciada a segunda fase, están suxeitos ó seu cumprimento un número de países equivalente ó 80% da xeración de CO₂ mundial, incluídos algúns dos grandes emisores: EEUU, China, India e Brasil.

⁴ “España cumprirá Kioto con una compra de saldo de CO₂ polaco”. El País (Octubre 2012).

- Real Decreto 235/2013, Certificación de Eficiencia Enerxética nos Edificios.
- Lei de Rehabilitación, Rexeneración e Renovación Urbanas.

Todas estas normativas poñen de manifesto a preocupación ambiental existente en relación co consumo enerxético e as emisión de CO₂ desde o sector da construción e as iniciativas governamentais coñecidas a día de hoxe, sendo conscientes da que a repercusión da edificación na emisión de contaminantes vese determinada por dúas fontes, a fabricación de materiais e o uso das edificacións.

6.1. ESTUDOS, PROXECTOS E INVESTIGACIÓNS SIMILARES LEVADAS A CABO

Para a realización deste proxecto fíxose unha busca bibliográfica entre os distintos estudos, proxectos, investigacións e artigos publicados ata o momento e que están directamente relacionadas co ámbito de estudo recollido neste documento.

Os traballos e liñas de investigación que abarcan a mesma problemática, están caracterizados na súa maioría, polo emprego dunha metodoloxía de cálculo baseada nos bases de datos xa existentes, como por exemplo o banco BEDEC, sen ter en conta as peculiaridades de cada lugar.

A continuación preséntase un resumo das características específicas dos documentos consultados que, unha vez rematada a busca, se consideran máis importantes e acordes co contido e obxectivos deste proxecto fin de mestrado:

6.1.1. “Inventory of Carbon and Energy” (ICE)

Este proxecto foi desenvolvido polo profesor Geoff Hammond e por Craig Jones, ámbolos pertencentes ao equipo de investigación de enerxías renovables da Universidade de Bath (UK).

O obxectivo deste proxecto foi crear un inventario no que se recollen os valores da enerxía incorporada e os coeficientes de carbono aplicables aos diferentes materiais que se utilizan no proceso de construción, que fose veraz e fiable, e que ademais proporcionase unha fonte de datos de libre acceso para os axentes que interveñen no proceso construtivo (arquitectos, arquitectos técnicos, propietarios...).

Este documento define a enerxía incorporada dun material de construción como a enerxía primaria total consumida por procesos directos e indirectos asociados cun produto ou servizo dentro dos límites de “berce a porta”. Isto inclúe tódalas actividades precisas para a obtención dun produto, incluíndo a extracción, procesamento e transporte, ata que o material está listo para deixar a fábrica.

Tamén define o carbono incorporado como a suma das emisións de carbono relacionadas co combustible, é dicir, as emisións que se producen durante os procesos de elaboración dos produtos excluindo a enerxía de alimentación⁵, e as emisións de carbono relacionadas co procedemento (emisións provocadas por reaccións químicas). Isto pódese medir de “berce a tumba”, pero neste estudo só se teñen en conta as emisións de “berce a porta”, co que para facer un estudo máis pormenorizado, sería preciso incluír máis fases e procesos para obter un resultado axeitado.

O inventario contén un resumo no que se especifica, aproximadamente, a enerxía e o carbono incorporados de 1800 elementos pertencentes a 34 clases de materiais empregados na construción.

Os datos referentes á enerxía e carbono incorporados foron obtidos de recursos independentes e de publicacións existentes (periódicos, reportaxes técnicas, investigacións, traballos...), realizando á súa vez, unha rigorosa análise, cuns criterios de selección definidos, para obter resultados fiables.

Para levar a cabo este inventario, seguíronse metodoloxías recoñecidas, como por exemplo os estándares marcados pola ISO 14040/44, marcáronse uns límites de actuación, establecendo que procesos estaban incluídos no ámbito de análise e cales non (“berce a porta”), tivéronse en conta datos procedentes de outros países, xa que nalgúns dos materiais non foi posible obter datos no Reino Unido, deuse preferencia aos datos procedentes de fontes máis actuais, debido ás variacións na mestura da produción de enerxía, e empregáronse preferentemente datos de carbono incorporado procedentes de estudos do ciclo de vida completo dos materiais.

Materiais	Enerxía Incorporada (MJ/Kg)	Carbono Incorporado (KgCO ₂ /Kg)	Comentarios
Aceiro	24,40	1,77	42,7% reciclado
Aluminio	155,00	8,24	13,8 MJ/kg enerxía de alimentación
Cemento	4,60	0,83	Cemento Portland, CEM I
Cerámica	10,00	0,65	Gran variedade de valores
Cortiza	4,00	0,19	----
Formigón	0,95	0,13	----
Lana de roca	16,80	1,05	----
Ladrillo	3,00	0,22	----
Lana mineral	16,60	1,20	----
Morteiro (1:3)	1,40	0,21	Valores estimados polo modelo ICE Cement, Mortar & Concrete
PVC	77,20	2,41	28,1 MJ/kg enerxía de alimentación

Figura 6.1: Exemplos de materiais incluídos no “Inventory of Carbon & Energy”.

⁵ A enerxía de alimentación é a procedente dos elementos derivados do petróleo que se empregan como material (plásticos, caucho...) e non coma un combustible en si, polo tanto, a enerxía que conteñen pode ser recuperada ó final da súa vida útil, por exemplo mediante a incineración.

6.1.2. “Banco Estructurado de Elementos Constructivos do ITEC (BEDEC)”

O banco BEDEC do ITeC, Banco Estructurado de Datos de Elementos Constructivos, é un banco paramétrico que contén 743.000 elementos de obra nova e mantemento de edificación, urbanización, enxeñaría civil, rehabilitación e restauración, seguridade e saúde, ensaios de control e gastos indirectos, con prezos de referencia para todas as provincias e comunidades autónomas, 5.000 pregos de condicións técnicas, a integración dos produtos comerciais de 87 empresas e listaxes de datos ambientais.

Coa finalidade de proporcionar datos sobre os impactos ambientais máis característicos, o banco ofrece os valores para cada elemento do custo enerxético e emisións de CO₂ dos materiais e dos procesos de execución empregados en cada elemento e as cantidades e características dos residuos de obra e de embalaxe que xera cada elemento unitario.

A obtención dos datos do custo enerxético e das emisións de CO₂ para a elaboración deste banco de datos, foi posible grazas á colaboración entre o Instituto Catalán de Enerxía (ICAEN), os departamentos de Construción Arquitectónica da UPC e o Centro Tecnolóxico da Construción (iMat), o cal levou a cabo unha revisión dos datos a partir da análise de diferentes bases de datos europeas (a principal Ecoinvent 1.3) e de estudos relativos á enerxía contida nos materiais e das emisións de CO₂ asociadas.

Algúns dos datos contrastáronse e completáronse a partir da información facilitada por empresas e fabricantes, e en diversas revisións realizadas, os datos comparáronse con fontes que analizan o ciclo de vida, como o “Inventory of Carbon and Energy”, do que se falou no apartado anterior, a “Construction industry research and information association” ou o “Instituto de diversificación e aforro enerxético” (IDAE).

Para os distintos produtos, o consumo enerxético contempla o proceso de extracción das materias primas, o transporte dende a orixe á fábrica e o proceso de transformación dos seus materiais constitutivos. Non se ten en conta o custe enerxético que supón o proceso de transformación dunha materia prima nun elemento específico (como por exemplo a elaboración dun tubo, perfil ou prancha de aceiro) nin tampouco o transporte do material do almacén do fabricante á obra⁶. Os valores de enerxía e carbono incorporados están dentro do ámbito de “berce a porta”, ao igual que no inventario do ICE.

Para a maquinaria o custo enerxético contempla o consumo da máquina durante o seu funcionamento no proceso de execución dun elemento construtivo.

⁶ “Guía de criterios BEDEC”. Instituto da Tecnoloxía da Construción de Cataluña (ITEC). Xaneiro 2014.

O consumo enerxético da mesma está asociado á súa potencia e ó tipo de motor e combustible empregados, é dicir, ao seu rendemento.

A continuación pódese ver un exemplo de como se presentan os datos ambientais na páxina web do ITEC:

COMPOÑENTES CONSTITUÍNTES	PESO (Kg)	CUSTO ENERXÉTICO (MJ)		EMISIÓNS DE CO ₂ (Kg)
Aceite sintético	0,90	90,44	25,12	13,35
Aceiro	162,53	5.688,67	1.580,19	458,34
Aceiro recocido	1,82	77,52	21,53	6,20
Auga	170,63	1,02	0,28	0,049
Árido	2.105,95	315,89	87,75	16,85
Cemento	262,50	991,73	275,48	218,66
PVC	0,27	18,62	5,17	2,75
TOTAL	2.704,60	7.183,89	1.995,53	716,20

Figura 6.2: Enerxía e carbono incorporados dun piar de formigón armado⁷.

6.1.3. “Comparativa de consumo de recursos en vivendas unifamiliares, Embodied Energy”

Este traballo trátase do proxecto Fin de Carreira presentado pola alumna Alicia Brage Pérez, na Escola Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña no ano 2012, cuxo obxectivo é levar a cabo unha análise comparativa dos recursos que son precisos para a fabricación de dúas vivendas unifamiliares.

Para elo, realízase unha estimación do carbono incorporado que posúe cada vivenda, empregando a ferramenta de cálculo TCQ 2000, desenvolvida polo Instituto de Tecnoloxía da Construción de Cataluña (ITEC), e empregando uns valores de emisións de CO₂ de cada material proporcionados polo Banco de datos estruturado de elementos construtivos (BEDEC), que tamén ofrece o mesmo organismo.

Para obter os valores estimados de emisións de CO₂ imputables a cada vivenda, fíxose a medición total de tódolos materiais e produtos que compoñen as edificacións e se lle aplicaron os coeficientes de emisións correspondentes, obtendo, ca xuntanza total dos diferentes elementos, un valor global de carbono incorporado.

Con estes coeficientes só se obtén o carbono incorporado dos materiais ata a saída da fábrica dos produtos, xa que os coeficientes empregados soamente analizan o proceso de fabricación (“de berce a porta”).

⁷ Datos asociados a un m³ de piar de formigón armado, con encofrado para revestir, cunha contía de 13,3 m²/m³, formigón HA-25/B/10/I, vertido con cubo e armadura AP500 S de aceiro en barras corrugadas con una contía de 120 kg/m³. www.itec.es

A continuación, fíxose un estudo das emisións que se producirían durante o transporte a obra, construción, mantemento e demolición das vivendas, co fin de obter un valor aproximado das emisións totais de CO₂ das edificacións (“de berce a tumba”).

Tamén se levou a cabo a estimación da enerxía operacional das vivendas a través do programa Calener VYP, desenvolvido polo Ministerio de Industria, Enerxía e Turismo, para a cualificación enerxética dos edificios, obtendo ca suma de ámbolos dous, a pegada de carbono total das vivendas.

6.1.4. “Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO₂ producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto”

Este estudo é unha tese doutoral levada a cabo por M^a del Pilar Mercader Moyano, na Universidade de Sevilla no ano 2010. O obxectivo primeiro desta tese é a elaboración dun modelo encamiñado á cuantificación do consumo enerxético (enerxía incorporada) e das emisións de CO₂ (carbono incorporado), no modelo construtivo habitual que presenta a cidade de Sevilla, derivadas dos recursos materiais empregados na súa execución.

Para poder realizar dito proceso, foi necesaria a selección previa dunha mostra de edificios que fosen característicos e representativos do campo de edificios e das vivendas de protección oficial da cidade, xa que é sobre nestas, onde se fixo o estudo.

Foi precisa a cuantificación de tódolos recursos materiais que se consumen na execución destes edificios. Para poder levar a cabo unha comparativa entre as distintas mostras, expresáronse os resultados dos distintos produtos nas mesmas unidades, en kg por cada m² de superficie construída.

Para poder obter os valores da enerxía e do carbono incorporados, levouse a cabo unha adaptación dos elementos construtivos que se cuantificaron nos edificios, cos elementos que recolle o banco BEDEC PR/PCT do ITEC, para obter unha base de datos medioambiental e conseguir os valores do consumo enerxético (MJ/kg) e as emisións de CO₂ (kgCO₂/kg).

Por último e para obter os resultados finais de consumo e emisións, empregouse o programa estatístico “Statistical Product and Service Solutions” (SPSS 11), co que se fixo unha caracterización cuantitativa dos recursos materiais empregados, para así poder obter as porcentaxes estatísticas de consumo de produtos nos edificios, obtendo uns valores estatísticos do consumo de enerxía e das emisións de CO₂ que se producen na construción de vivendas de protección oficial en Sevilla.

6.1.5. “A method and tool for cradle to grave embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards”

Este artigo foi publicado na revista ELSEVIER, no apartado de “Energy and Buildings” en xullo de 2013.

Nel trátase a nova publicación dos estándares TC350 en Reino Unido, os cales definen os impactos de “cradle to grave” que se teñen que ter en conta durante o proceso de análise do ciclo de vida dun edificio.

Ditos estándares TC350 miden tódolos impactos durante o ciclo de vida dun edificio, definindo catro etapas: produto, proceso de construción, uso e fin de vida útil.

Nestes estándares tamén se define a enerxía incorporada como o total da enerxía primaria, medida en kWh, consumida por procesos directos ou indirectos asociados cun edificio durante o seu ciclo de vida. Isto inclúe tódalas actividades de extracción, fabricación, transporte, construción, mantemento e fin de vida útil.

O carbono incorporado é definido como a suma de tódalas emisións de gases de efecto invernadoiro que se producen durante o ciclo de vida dun edificio.

6.1.6. “A guide to understanding the embodied impacts of construction products”

Este documento é unha guía que publicou a “Construction Products Association” de Reino Unido, e que fai un repaso de tódolos métodos e sistemas de cálculo para a cuantificación da pegada de carbono.

Defínese a análise do ciclo de vida como unha metodoloxía empregada para medir o impacto medioambiental dun produto ou sistema durante a súa vida útil. Este mide o impacto da extracción das materias primas, do procesamento, da fabricación, da recuperación e da eliminación. Ademais, mide impactos dentro dun grande rango de aspectos ambientais, como o impacto na calidade do aire, consumo e calidade da auga, toxicidade para a vida humana, funcionamento dos ecosistemas co quentamento global ou o consumo de recursos.

Tamén se define o carbono incorporado como o dióxido de carbono ou emisións de gases de efecto invernadoiro asociadas ca fabricación e uso dun produto ou servizo. Para produtos de construción, isto significa as emisións relacionadas ca extracción das materias primas, fabricación do produto, transporte, instalación, mantemento e eliminación dos materiais e produtos.

Establece as características que debe incluír unha análise do ciclo de vida que son o obxectivo e o ámbito: indicar o contexto de estudo, os límites a analizar e a metodoloxía. O rango de indicadores para asesorarse teñen que estar listados e xustificados. Teñen que ser medidos os impactos dos recursos e enerxía requiridos (upstream impacts), así como os resultantes da eliminación e os residuos xerados (downstram impacts).

Tamén se establecen os pasos que debe seguir un ACV:

- Inventario: recompilar a información precisa, recursos necesarios, emisións, residuos, consumo de enerxía, consumo de auga,...
- Clasificación: ordenar os recursos e emisións en base aos impactos que producen.
- Caracterización: empregar un estándar de caracterización asociado a cada impacto.
- Normalización: axustarse a normativas existentes.

6.2. PROGRAMAS E FERRAMENTAS DE CÁLCULO

Existe unha ampla variedade de ferramentas software dispoñibles para levar a cabo un ACV, as cales teñen como compoñentes principais e prioritarios a presenza e variedade de bases de datos e de metodoloxías de EICV.

As principais ferramentas de cálculo que avalían o impacto ambiental dos materiais e/ou compoñentes do edificio, están estreitamente vinculadas cas bases de datos que se desenvolveron no país de orixe de cada programa.

Para o caso das bases de datos, é recomendable que se encontren ben definidas (grao de coñecemento dos datos dispoñibles en función do formato destes) e cun período regular de actualización, debido a que os avances tecnolóxicos provocan un envellecemento prematuro da validez dos datos existentes.

Para o caso das metodoloxías de EICV, é recomendable que a ferramenta sexa capaz de traballar con varias delas. Con isto preténdese:

- Obter resultados concretos a través dunha metodoloxía específica, como por exemplo, o cálculo da Pegada de Carbono a través da metodoloxía IPCC.
- Poder comparar os resultados que proporcionan diferentes metodoloxías para o cálculo do mesmo impacto ambiental, como por exemplo ver a diferenza de kg CO_{2e} que dá como resultado aplicar a metodoloxía IPCC por un lado e a metodoloxía CML 2001 por outro. A utilidade desta opción radica en que pode

acontecer que os resultados sexan moi diferentes aínda que o impacto ambiental analizado sexa o mesmo, xa que as metodoloxías de EICV teñen os seus propios alcances, factores de conversión e suposicións. A través desta comparativa pódese enriquecer a interpretación dos resultados e permítese avaliar a idoneidade ou non dunha metodoloxía ou outra.

- Poder manexar resultados tanto específicos coma xerais, como por exemplo obter resultados sobre a enerxía incorporada e o carbono incorporado por un lado, e por outro a carga ambiental do sistema analizado en puntos.

A continuación indícanse de xeito esquemático varias das ferramentas de ACV dispoñibles, que analizan os impactos ambientais da construción.

NOME	CREADOR	CARACTERÍSTICAS
SIMAPRO	Pre consultants	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BBDD moi completa incluíndo Ecoinvent e BUWAL 250. ▪ Metodoloxías de impacto: CML 2001, Ecoindicator 99, Recipe, Impact 2002+, IPCC 2007 GWP 100a... ▪ Posibilidade de modificación en calquera momento de todos os parámetros do ciclo de vida do produto e modificación das metodoloxías de cálculo de xeito personalizado. ▪ Permite análise tipo: LCA: Life Cycle Assessment, LCC: Life Cycle Costing e Social-ACV. ▪ Posibilita a redacción de informes de acordo coa normativa ISO 14040 de ACV. ▪ Posibilidade de análise de: incerteza dos datos, escenarios de fin de vida, análise de sensibilidade e Monte Carlo. ▪ Permite exportar a información tanto en formato Ecospold e en Excel. <p style="text-align: right;">www.simapro.es</p>
GABI	PE International	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Descrición gráfica do ciclo de vida do produto mediante estrutura xerárquica. ▪ Inclúe Ecoinvent e US LCI. ▪ Entradas e saídas asociadas a cada proceso. ▪ Fluxos entre procesos. ▪ Posibilidade de modificación en calquera momento de todos os parámetros do ciclo de vida do produto. ▪ Posibilidade de reutilización de procesos e plans creados noutros proxectos. ▪ Permite análise tipo: Life Cycle Assessment, Life Cycle Cost e Life Cycle Working Environment. <p style="text-align: right;">www.gabi-software.com</p>

<p align="center">UMBERTO</p>	<p align="center">ifu Hamburg GMBH</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ Diversas metodoloxías de cálculo: Ecoindicator 99, CML 2001, Swiss ecopoints... ▪ Inclúe Ecoinvent e GaBi. ▪ BBDD propia, pero inclúe Ecoinvent e Sabento. ▪ Entradas e saídas asociadas a cada proceso. ▪ Fluxos entre procesos. ▪ Alta flexibilidade no concerner a límites do sistema, con posibilidade de ser definidos individualmente. ▪ Permite análise tipo: Life Cycle Assessment e Life Cycle Cost. ▪ Posibilidade de modificación en calquera momento de todos os parámetros do ciclo de vida do produto. ▪ Gran variedade de representación dos datos da análise, tanto no referente ao balance do sistema, coma á EICV. ▪ Distintas interfaces para a conexión do programa a outras aplicacións. ▪ Posibilidade de análise de: escenarios de fin de vida, sensibilidade e Monte Carlo. ▪ Permite exportar a información tanto en formato Ecospold e en Excel. <p align="right">www.umberto.de</p>
<p align="center">AIST-LCA 4</p>	<p align="center">National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AIST-LCA segue a metodoloxía ISO 14040. ▪ Base de datos propia (máis de 400). ▪ Fácil de utilizar e entender. ▪ Equipado con método de LIME. ▪ Apoio de informe. ▪ Modelo de importación. ▪ Fácil de establecer transporte entre procesos. ▪ Fácil de estimar o efecto de reciclaxe. ▪ Xestión para lista de substancias ▪ Mini previsualización de datos de entrada visuais para proceso. ▪ Facultade de exportación de importación de datos. ▪ Facultade de asignación de autos. ▪ Exportable a Excel. <p align="right">www.aist-riss.jp</p>
<p align="center">TEAM</p>	<p align="center">ECOBILAN</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BBDD propia, pero inclúe Ecoinvent. ▪ Posibilidade de modificación en calquera momento de todos os parámetros do ciclo de vida do produto. ▪ Metodoloxía de cálculo propia, pero tamén dispón de IPCC entre outros. ▪ Posibilita a redacción de informes de acordo coa normativa ISO de ACV. ▪ Ventá de estrutura de árbore CV. ▪ Diagrama de fluxos e procesos. ▪ Exportable a Excel. <p align="right">ecobilan.pwc.fr</p>
<p align="center">BEES 4.0</p>	<p align="center">National Institute of Standards and Technology (NIST), USA</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ Apoiado polo Programa de Compra Verde do EPA e o laboratorio de investigación do lume e a construción. ▪ Contén aproximadamente 200 produtos, clasificados segundo UNIFORMAT II, clasificación estándar de ASTM. ▪ Informes conformes a ISO de ACV. ▪ Dispón da metodoloxía TRACI. ▪ As fases de análise e interpretación realízanse a través da American Section of the International Association for Testing

		<p>Materials (ASTM).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Exportable a Excel. <p align="right">ws680.nist.gov/Bees</p>
CMLCA 4.2	Leiden University, Institute of Environmental Sciences (CML), Holanda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parte das bases de datos CML-IA, Ecoinvent e ETH96. ▪ Métodos EICV: CML2001, EDIP, EPS, TRACI, Impact 2002 +... ▪ Exportable a Excel. <p align="right">www.cmlca.eu</p>
E ³ Database V2.3.3	Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Alemaña	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ Ferramenta centrada no cálculo do consumo de enerxía, emisións de GEI, polución do aire e custos. ▪ Permite a introdución de novas entradas na base de datos polo usuario. ▪ Exportable a Excel. <p align="right">www.e3database.com</p>
ECODESIGN X-PRO	Ecomundo, Francia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida de “berce a porta”. ▪ Ferramenta ACV online. ▪ Especialmente indicada para persoal non experto en metodoloxías ACV. ▪ Parte das bases de datos ELCD (European Reference Life Cycle Data System). ▪ Utiliza CML 2001 como método EICV, aínda que é configurable. <p align="right">eplca.jrc.ec.europa.eu</p>
EIME 9.0	Bureau Veritas CODDE, Francia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ Informes conformes a ISO de ACV. ▪ Permite a introdución de novas entradas na base de datos polo usuario. ▪ Exportación a Excel. <p align="right">www.codde.fr/en/lca-software.com</p>
Athena Environmental Impact estimator	Athena Sustainable Materials Institute, Canada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ Permite a introdución de novas entradas na base de datos polo usuario. ▪ Aplicable só en Norte América. ▪ Inclúe o cálculo da enerxía de operación. ▪ Dispoñible o “ecocalculator”, o cal permite realizar ACV de materiais de construción. ▪ Dispón de método de EICV propio. <p align="right">www.athenasmi.org</p>
EVERDEE 2.0	ENEA, Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ferramenta ACV gratuíta, dispoñible online. ▪ Dispón de base de datos propia. ▪ Caracterización segundo CML2001. ▪ Proporciona valores para diferentes categorías de impacto. ▪ Permite importar datos. <p align="right">www.ecosmes.net</p>
GEMIS 4.42	IINAS, Alemaña	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ Ferramenta ACV gratuíta. ▪ Ademais das habituais, avalía categorías de impacto non comúns noutras ferramentas, como CER (Cumulated Energy Demand), CMR (Cumulated Energy Requirement). ▪ Dispoñible en castelán. <p align="right">www.iinas.org</p>

LEGEP 1.2	LEGEP Software GmbH, Alemaña	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ Ferramenta moi completa para o sector da construción sostible. ▪ Utiliza como base de datos Ecoinvent. ▪ Utiliza como método EICV CML2001, aínda que se poden configurar outros métodos. <p align="right">www.legep.de</p>
LTE-OGIP 5.0	t.h.e. Software GmbH, Alemaña	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida completo. ▪ A base de datos principal é Ecoinvent. ▪ Permite a introdución de novas entradas na base de datos polo usuario. ▪ Métodos EICV dispoñibles: Ecoindicator99, GWP 100a, Swiss ecopoints... ▪ Permite exportar a Excel e pdf. <p align="right">www.the-software.de</p>
REGIS 2.3	SINUM, Alemaña	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software ACV que apoia á xestión empresarial dende o enfoque da ecoeficiencia. ▪ Dispón de Ecoinvent e BUWAL entre outras como bases de datos. ▪ Métodos EICV dispoñibles: Ecoindicator, IPCC... ▪ Dispoñible en castelán. ▪ Permite exportar a información en Ecospold, Excel e CSV. <p align="right">www.sinum.com</p>
TESPI	ENEA, Italia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclo de vida de “berce a porta”. ▪ Ferramenta ACV gratuíta e dispoñible online. ▪ Orientada a PYMEs. <p align="right">www.ecosmes.net</p>

Figura 6.3: Ferramentas de cálculo do ACV⁸.

Por último cabe destacar que dentro do ámbito español, existe un software para a construción, formado por un conxunto de aplicacións informáticas para dar soporte ás actividades de redacción, contratación, planificación e control de proxectos e obras, chamado TCQ 2000.

Foi desenvolvido polo Instituto de Tecnoloxía da Construción de Cataluña (ITEC) como unha metodoloxía para a definición e seguimento dos valores dos parámetros de tempo, custo e calidade, e para a formulación da seguridade, a xeración de residuos e o custo enerxético dos materiais.

Xestiona conxuntamente e de xeito integrado os datos técnicos, económicos e temporais que interveñen no ciclo de vida da obra por medio de diferentes módulos de aplicación, que tamén poden empregarse de xeito independente.

No seu módulo 7, Xestión Ambiental, pódese xerar a documentación do estudo de xestión de residuos da construción e demolición (segundo o RD 105/2008) e analizar diversos impactos ambientais producidos polos materiais de construción,

⁸ Elaboración propia a partir da información buscada.

permitindo relacionar de xeito directo os aspectos ambientais, técnicos e económicos das solucións construtivas.

Actualmente, o impacto ambiental que se analiza do ciclo de vida dos materiais é o consumo enerxético na fabricación dos materiais, o consumo enerxético da posta en obra de ditos materiais, cas emisións de CO₂ correspondentes e analízanse os residuos xerados na obra, coma embalaxes e materiais sobrantes da posta en obra.

Isto implica que a análise do ciclo de vida realizada non é completa, posto que non ten en conta as fases de uso do edificio nin de demolición e reciclado dos materiais.

Para levar a cabo o estudo realízase unha adaptación do presuposto dun proxecto aos elementos construtivos do Banco Estruturado de Elementos Construtivos (BEDEC), desenvolvido tamén polo mesmo organismo. As principais operacións que se aplican son:

- Adaptar o presuposto de acordo con un banco/presuposto con datos ambientais.
- Listado das incidencias detectadas.
- Entrada de novos datos ambientais e corrección de acordo co listado anterior.
- Consulta de resultados:
 - Peso (cantidade de material empregado segundo o presuposto).
 - Residuos en peso (cantidade de materiais sobrantes do proceso de execución).
 - Residuos en volume (volume dos materiais sobrantes do proceso de execución).
 - Custo enerxético dos materiais (consumo enerxético na fabricación dos materiais que compoñen o presuposto).
 - Custo enerxético da maquinaria (consumo enerxético na utilización da maquinaria durante o proceso de execución).
 - Emisión de CO₂ dos materiais (emisións de CO₂ na fabricación dos materiais que compoñen o presuposto).
 - Emisión de CO₂ da maquinaria (emisións de CO₂ na utilización da maquinaria durante o proceso de execución).
 - Resumo (información dos distintos impactos en cada un dos niveis que conforman o presuposto).
- Informes para os diferentes niveis ou capitulado do presuposto.
- Representación gráfica dos resultados obtidos.

En canto ao cumprimento co Real Decreto 105/2008, para o establecemento dun estudo de xestión de residuos, as principais operacións que se levan a cabo son:

- Definición da ficha coas accións para minimizar e previr que poden axudar a unha mellor xestión dos residuos.
- Obtención do volume de terras de escavación e asociación do seu destino final.
- Cuantificación e identificación por tipoloxías, dos residuos, e codificación segundo o Listado Europeo de Residuos (códigos LER).
- Comprobación das cantidades dos residuos e, se superan os valores determinados polo Real Decreto, indicación da súa separación individual.
- Obtención dun listado de todos os residuos producidos segundo Real Decreto 105/2008, separados por fases de obra tal e como esixe o Decreto da Generalitat de Cataluña de ecoeficiencia 21/2006.
- Confección da memoria do estudo, a partir dunha proposta de estrutura na que o usuario poida ampliar ou emendar o seu contido, eliminar apartados..., así como imprimir ou exportar o documento final mediante o formato doc ou rtf onde se definen as operacións de xestión de residuos dentro da obra e fóra da obra, segundo:
 - Espazo dispoñible para realizar a separación selectiva dos residuos na obra.
 - A posibilidade de nova utilización e reciclaxe in situ.
 - A proximidade de plantas de tratamento de residuos da construción e demolición e a distancia aos depósitos controlados...
- Xeración do prego de condicións técnicas das partidas relacionadas coa xestión dos residuos.
- A posibilidade de indicar a zona reservada para a xestión dos residuos nos planos, sinalizando as instalacións previstas para a almacenaxe (situación dos colectores e zonas de abasto), manexo, separación,... mediante un menú de pictogramas que permite escoller gráficos para indicar esta xestión.
- Obtención do presuposto do estudo:
 - Xeración da estrutura do presuposto de todos os residuos producidos, incluíndo as terras e as partidas correspondentes.
 - Confección do presuposto, utilizando un banco de prezos de referencia, en formato TCQ ou BC3.

A información ambiental do banco de datos BEDEC, atópase accesible en parte e de xeito gratuíto na páxina web do ITEC, na que se introducen os datos paramétricos dos produtos desexados, e se obteñen táboas cos valores da enerxía incorporada, o carbono incorporado e os datos dos residuos xerados⁹. Para poder facer uso completo do programa de cálculo é precisa a súa compra o posuír unha licenza ofrecida polo organismo autor do mesmo.

O exemplo de cómo aparecen os datos na páxina web encóntrase no apartado 6.1.2 deste documento.

É unha ferramenta de gran axuda para o sector da construción en España, xa que se trata da primeira do seu ámbito e que inclúe datos ambientais da enerxía e carbono incorporados.

Porén, os datos só reflicten valores correspondentes á fase de “berce a porta”, co que os factores de emisión que recollen están incompletos. Para unha primeira aproximación de cálculo é unha boa aplicación a ter en conta.

⁹ www.itec.es

7 METODOLOXÍAS DE AVALIACIÓN DO IMPACTO AMBIENTAL

Na actualidade existen a nivel internacional diversas metodoloxías de avaliación e cuantificación da carga ambiental dos produtos e materiais de construción, sendo a maioría delas completamente válidas e proporcionándonos datos e información fiables, pero non se conta cun marco metodolóxico común e uniforme, por exemplo para a medición das emisións de gases de efecto invernadoiro.

Esta problemática dou lugar a aparición de diversas metodoloxías que se empregan para a cuantificación dos impactos provocados durante o ciclo de vida dos produtos, sendo capaces de estimar a enerxía incorporada e as emisións contaminantes que se producen.

A continuación, descríbense algunhas das metodoloxías de avaliación máis empregadas na actualidade.

7.1. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A análise do ciclo de vida é unha ferramenta de xestión ambiental para a toma de decisións dende o punto de vista medioambiental, a máis empregada no noso territorio, e que permite avaliar o comportamento ambiental dun produto ao longo de todo o seu ciclo de vida “de berce a tumba”.

Defínese como a recompilación e avaliación das entradas, resultados e os impactos ambientais potenciais dun sistema do produto durante o seu ciclo de vida, definíndose este último como as etapas consecutivas e entre relacionadas dun sistema do produto, dende a adquisición de materia prima ou da súa xeración a partir de recursos naturais, ata a disposición final¹.

A principal característica desta ferramenta é o seu enfoque holístico, é dicir, que se basea na idea de que todas as propiedades dun sistema non poden ser determinadas ou explicadas só de xeito individual polas partes que o compoñen. É necesaria a integración total de todos os aspectos que participan; de aí o concepto de ter en conta todo o ciclo de vida do sistema.

Os elementos que se teñen en conta dentro do ACV, comunmente coñécense como entradas / saídas (“inputs / outputs”):

¹ UNE-EN ISO 14044:2006. “Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices”.

- Inputs/entradas: Uso de recursos e materias primas, partes e produtos, transporte, electricidade, enerxía..., que se teñen en conta en cada proceso/fase do sistema.
- Outputs/saídas: Emisións ao aire, á auga e ao chan, así como os residuos e os subprodutos que se teñen en conta en cada proceso/fase do sistema.

O ACV dun produto debería incluír todas as entradas/saídas dos procesos que participan ao longo do seu ciclo de vida: a extracción de materias primas e o procesado dos materiais necesarios para a manufactura de compoñentes, o uso do produto e finalmente a súa reciclaxe e/ou a xestión final. O transporte, almacenaxe, distribución e outras actividades intermedias entre as fases do ciclo de vida tamén se inclúen cando teñen a relevancia suficiente.

Un novo enfoque, baseado en ter en conta que as correntes de saída do Fin de Vida do sistema poden ser valoradas como materias primas e/ou entradas ao mesmo sistema ou a outro, está a ter un importante recoñecemento nos últimos anos. A este tipo de enfoque en ACV denomínaselle como "do berce ao berce".



Figura 7.1: Fases analizadas no ACV².

Estableceuse por parte de ISO, “International Organization for Standardization”, un marco para a estandarización da metodoloxía de ACV, segundo a familia de normas ISO 14040:

- UNE EN ISO 14040: 2006: Xestión ambiental. Análise de ciclo de vida. Principios e marco de referencia.
- UNE EN ISO 14044: 2006: Xestión ambiental. Análise de ciclo de vida. Requisitos e directrices.

² Elaboración propia ca ferramenta en liña Piktochart.

De acordo ca estandarización levada a cabo, distínguense catro fases para a realización dun ACV:

- *Definición do obxectivo e alcance:* define o obxectivo e o uso previsto do estudo, así como o alcance de acordo cos límites do sistema, a unidade funcional e os fluxos dentro do ciclo de vida, a calidade esixida aos datos, e os parámetros tecnolóxicos e de avaliación.
- *Análise do inventario:* recompilación dos datos precisos para cumprir cos obxectivos do estudo definido. Os datos para cada proceso unitario dentro dos límites do sistema, deben incluír as entradas de enerxía e materia prima, os produtos e residuos, as emisións ó aire e vertidos e outros aspectos ambientais. Para levar a cabo o cálculo dos fluxos de enerxía³ débense ter en conta as distintas fontes de combustibles e electricidade empregadas, a eficiencia da conversión e a distribución do fluxo de enerxía, así como as entradas e saídas asociadas a xeración e á utilización de dito fluxo.
- *Avaliación do impacto ambiental:* é a fase do ACV na que o inventario de entradas e saídas é traspasado a indicadores de potenciais impactos ambientais ao medio, á saúde humana e á dispoñibilidade de recursos naturais.
- *Interpretación:* é a fase final, na cal se resumen e discuten os resultados como base para as conclusións, recomendacións e toma de decisións de acordo co obxectivo e alcance definidos.

7.1.1. Avaliación dos impactos do ciclo de vida

A avaliación de Impactos do Ciclo de Vida (EICV), é a fase do ACV dirixida a coñecer e avaliar a magnitude e a importancia dos impactos ambientais potenciais dun sistema. Nesta fase emprégase un método de avaliación para transformar os datos recollidos no ICV, en resultados de carácter ambiental.

É en definitiva a fase do ACV que caracteriza o resultado final deste e unha das que maior controversia causa, xa que non existe acordo común na comunidade internacional para o establecemento dun modelo único de avaliación de impactos ambientais. A UNE-EN-ISO 14040: 2006 establece unha serie de pasos ou etapas:

³ Entrada ou resultado dun proceso unitario ou sistema do produto, expresada en unidades de enerxía. UNE-EN ISO 14044. “Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices”.



O primeiro paso ou etapa dentro do marco dun ACV é a selección das categorías de impacto ambiental a ter en conta no estudo. Estas categorías representan os impactos ambientais de interese aos cales se queren asignar os resultados do EICV. É dicir, os impactos ambientais dos cales se desexan obter resultados.

CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL		UD DE REFERENCIA	FACTOR DE CARACTERIZACIÓN
Quentamento global	Fenómeno observado nas medidas da temperatura que mostra un aumento na temperatura da atmosfera terrestre e dos océanos nas derradeiras décadas	Kg Eq CO ₂	Potencial de quentamento global (PCG)
Consumo de recursos enerxéticos	Enerxía consumida na obtención das materias primas, fabricación, distribución, uso e fin de vida do elemento analizado	MJ	Cantidade consumida (Enerxía incorporada)
Redución da capa de ozono	Efectos negativos sobre a capacidade de protección fronte ás radiacións ultravioletas solares da capa de ozono atmosférica	Kg Eq CFC-11	Potencial de esgotamento da capa de ozono (PAO)
Eutrofización	Crecemento excesivo da poboación de algas orixinado polo enriquecemento artificial das augas de ríos e embalses como consecuencia do emprego masivo de deterxentes e fertilizantes que provocan un alto consumo do osíxeno da auga	Kg Eq NO ₃	Potencial de eutrofización (PE)
Acidificación	Perda da capacidade de neutralización do solo e da auga, como consecuencia do retorno á superficie da terra, en forma de ácidos, dos óxidos de xofre e nitróxeno descargados á atmosfera	Kg Eq SO ₂	Potencial de acidificación (PA)
Consumo de materias primas	Consumo de materiais extraídos da natureza	Tn	Cantidade consumida
Formación de oxidantes fotoquímicos	Formación dos precursores que dan lugar á contaminación fotoquímica. A luz solar incide sobre ditos precursores, provocando a formación dunha serie de compostos coñecidos como oxidantes fotoquímicos	Kg Eq C ₂ H ₄	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)

Figura 7.2: Categorías de impacto ambiental⁴.

⁴ Elaboración propia a partir da información consultada.

Existen multitude de categorías de impacto ambiental, e a selección dunhas ou outras no ACV que se estea a levar a cabo dependerá do obxectivo do estudo e do nivel de exactitude dos resultados requiridos. Na figura anterior indícanse as principais categorías de impacto ambiental contempladas pola SETAC⁵:

Durante a etapa de clasificación, os datos do ICV son asignados a categorías de impacto. Se unha substancia contribúe a varias categorías de impacto, ten que ser tida en conta en todas estas categorías.

Unha vez que cada substancia do ICV foi asignada a unha ou máis categorías de impacto ambiental a través da clasificación, compárase o seu valor con respecto á substancia de referencia da devandita categoría.

Isto lévase a cabo a través dos factores de caracterización de cada substancia, e representan a contribución dunha substancia a unha determinada categoría de impacto en relación á substancia de referencia na devandita categoría.

Cada substancia é multiplicada polo seu correspondente factor de caracterización. Deste xeito pódense obter valores con unidades equivalentes, os cales poden ser sumados para medir a contribución das substancias a esa categoría de impacto.

Ademais dos pasos obrigatorios a realizar na EICV, existen pasos opcionais que poden darse dependendo do obxectivo e alcance previsto. Estes son os seguintes:

- *Normalización*: Conversión dos resultados da caracterización a unidades globais neutras, dividindo cada un por un factor de normalización. A través destes factores represéntase o grao de contribución de cada categoría de impacto sobre o problema ambiental local.
- *Agrupación*: Clasificación das categorías de impacto noutros grupos que engloben categorías de impacto con efectos similares.
- *Ponderación*: Conversión dos resultados dos valores caracterizados a unha unidade común e sumable (no caso de que a metodoloxía inclúa unha normalización, a partir dos valores normalizados), multiplicándoos polo seu factor de ponderación. Posteriormente súmanse todos eles para obter unha puntuación única total do impacto ambiental do sistema.

⁵ Sociedade de Toxicoloxía e Química Ambiental.

7.1.2. Metodoloxías de avaliación dos impactos do ciclo de vida

Para o desenvolvemento dos pasos descritos no punto anterior, existen a nivel científico diferentes metodoloxías de aplicación. A continuación indícanse de xeito esquemático as máis importantes metodoloxías de EICV dispoñibles, así como a súa descrición e as etapas que cobren.

Metodoloxía	Categorías de impacto ambiental incluídas	Descrición
Ecoindicator 99	Carcinoxénicos Respiratorios orgánicos Respiratorios inorgánicos Cambio climático Radiación Destrucción capa de ozono Ecotoxicidade Acidificación e eutrofización Emprego do solo Emprego de recursos minerais Emprego de combustibles fósiles	Sucesor do Eco-indicator 95. O seu desenvolvemento comezou co estudo da asignación de pesos para o Eco-indicator 95. Cambiouse o sistema de avaliación de impactos: en lugar de avaliar cada unha das categorías de impacto, avaliáronse os diferentes danos causados por ditas categorías de impacto, agrupándoos en tres niveis de dano: <ul style="list-style-type: none"> – Danos á saúde humana – Danos á calidade do ecosistema – Danos aos recursos
RECIPE	Destrucción da capa de ozono Toxicidade humana Radiación Fume fotoquímico Formación partículas Cambio climático Ecotoxicidade ao solo Acidificación ao solo Ocupación de solo rural Ocupación de solo urbano Transformación solo natural Ecotoxicidade auga mariña e doce Eutrofización auga mariña e doce Emprego de auga Emprego de combustibles fósiles Emprego de recursos naturais	RECIPE desenvolveuse para combinar as vantaxe dos métodos CML2001 e o Eco-indicator 99. A vantaxe do método CML é a súa solidez científica, mentres que a vantaxe do Eco-indicator 99 é a súa facilidade de interpretación. Con elo, melloráronse os modelos para o cambio climático, a destrución da capa de ozono, acidificación, eutrofización, emprego do solo e o esgotamento dos recursos naturais. Á súa vez, actualizáronse os factores de caracterización para algunhas categorías de impacto e para o paso de normalización.
CML 2001	Esgotamento de recursos abióticos Cambio climático Destrucción capa ozono Toxicidade humana Ecotoxicidade Fume fotoquímico Acidificación Eutrofización Uso de recursos	Método baseado no anterior CML 1992. O paso de normalización é opcional para ACV simplificados, pero obrigatorio para ACV exhaustivos. Dispón de valores de referencia para a normalización dos indicadores das categorías de impacto: A nivel mundial en 1990, a nivel europeo en 1995 e a nivel holandés en 1997.

IPCC	Cambio climático	Este método, cuxa definición comezou en 1988, recolle os factores de caracterización para o potencial do quentamento global directo debido a emisións ao aire.
EDIP / UMIP 96	Cambio climático Destrucción capa ozono Acidificación Eutrofización Fume fotoquímico Ecotoxicidade acuática Ecotoxicidade do chan Toxicidade humana Residuos Uso de recursos	Método cuxo desenvolvemento comezou en 1996 en Dinamarca. Os factores de normalización están baseados en equivalentes – persoa no ano 1990. Para a categoría de uso de recursos, a normalización e ponderación están incluídas dentro da fase de caracterización, xa que esta categoría se avalía de xeito distinto neste método. Os factores de ponderación son definidos como distancia ao obxectivo por persoa para o ano 2000. Para a categoría uso de recursos, estes factores están considerados nas fases anteriores, polo que neste paso se consideran cero.
EPS 2000	Saúde humana Capacidade de produción do ecosistema Reserva de recursos abióticos Diversidade biolóxica Valores culturais	A metodoloxía EPS2000 (Environmental Priority Strategies in product design) é un método orientado ao dano causado. Nel tense en conta a vontade de pagar para restaurar os cambios causados. Por iso a unidade do indicador final é o ELU (Environmental Load Unit). Neste método non se aplica o paso de normalización.
ECOPOI NTS97	Emisións ao aire Verteduras de augas superficiais Verteduras de augas subterráneas Verteduras ao chan Uso de recursos Residuos	Foi dos primeiros métodos con método de ponderación final. Ao igual que Ecoindicator 95, é un método baseado na distancia ao obxectivo, neste caso fixado pola propia política ambiental suíza. Este método non dispón de paso de clasificación, avalía os impactos individualmente. Para o paso de normalización, dispón de dúas opcións.
TRACI	Destrucción capa ozono Cambio Climático Fume fotoquímico Acidificación Eutrofización Efectos canceríxenos á saúde humana Efectos non canceríxenos á saúde humana Polución á saúde humana Ecotoxicidade Esgotamento de combustibles fósiles Uso do chan Uso de auga	Desenvolvido en 1995, supón unha ferramenta informática para a avaliación das 12 categorías de impacto que constitúen o método. Moitos dos mecanismos ambientais que soportan as categorías de impacto están importados doutras metodoloxías, como Ec99 e CML2001. Aínda que TRACI ten definidos os pasos de normalización e ponderación, a día de hoxe non dispón do histórico suficiente de información que lle permita realizar estes pasos con suficiente fiabilidade.
IMPACT 2002+	Toxicidade humana Efectos respiratorios Radiación ionizante Destrucción capa ozono Fume fotoquímico Ecotoxicidade acuática Ecotoxicidade do chan Acidificación acuática Acidificación do chan	Resulta dunha combinación entre as metodoloxías IMPACT 2002, Ec99, CML2001 e IPCC.

Acidificación e eutrofización do chan	
Ocupación do chan	
Cambio climático	
Enerxías non renovables	
Uso de recursos	

Figura 7.3: Metodoloxías de cálculo dos impactos ambientais⁶.

7.1.3. Bases de datos

Dende as primeiras excursións no mundo da análise do ciclo de vida, os distintos investigadores están levando a cabo estudos sobre a creación de bases de datos ambientais o máis documentadas posible, para recompilar os valores para a realización de ACV.

O desenvolvemento e análise dun ACV dependen en gran medida da base de datos que se emprega, xa que estas difiren nos resultados que se aplican a un mesmo elemento, en base á interpretación da información recibida por parte dos axentes creadores das mesmas.

É importante que nun primeiro momento, se escolla unha base de datos para proceder ao estudo na que se coñezan as características dos datos recollidos, xa que o emprego dunha ou outra, definirá uns resultados ou outros.

Cando se fala de bases de datos no marco dun ACV, pódense diferenciar dous tipos, en función dos datos que conteñan: bases de datos coas entradas/saídas que se empregan para simular o sistema analizado no ICV, coñecidas como bases de datos de ICV; e bases de datos ca información que cada metodoloxía de EICV necesita para que a ferramenta que levará a cabo o EICV faga os cálculos, coñecidas como bases de datos de metodoloxías.

As bases de datos de ICV están formadas por datos de moi diversos materiais e procesos, xeralmente agrupados segundo a fase do ciclo de vida á que fagan referencia. A través destas é posible asignar a cada entrada/saída recollida no ICV unha serie de datos, que lle achegarán a información sobre o seu impacto ambiental, os factores de caracterización, normalización...

As bases de datos de metodoloxías están formadas polos factores de caracterización, ponderación e demais datos que cada metodoloxía de EICV necesita para levar a cabo os cálculos de obtención de resultados.

⁶ Elaboración propia a partir da información consultada.

A principal característica dos datos é a de estar recollidos nun formato predeterminado e común, co que as ferramentas de ACV poden deseñarse para poder aceptar os datos nos formatos que decidan incluír.

Existen na actualidade diversos formatos de datos, os cales están recollidos nas diferentes bases de datos. Os máis comúns son:

- **Norma ISO/TS 14048:2002 sobre recollida de datos**

A norma "ISO/TS 14048:2002 Environmental management - Life cycle assessment – Data documentation format", posúe guías e requisitos especiais para a preparación, condución e revisión dos ACV, así como para a creación de bases de datos.

Ten fundamentalmente a intención de facilitar unha información transparente, unha interpretación e revisión da recolección dos datos, un cálculo correcto destes cando corresponda e dar o mellor marco para asegurar a calidade dos datos e o informe destes.

Tamén proporciona ferramentas para facilitar o intercambio de datos a través da especificación e a estruturación da información que sexa relevante. O formato está dirixido á documentación de procesos, como por exemplo procesos individuais de produción, produción en liña, produción en planta, sistemas de produto, sistemas de xestión de residuos, transportes individuais, rutas de transporte...

Algunhas características deste formato son:

- Cada proceso unitario está documentado nun informe independente.
- Un sistema de produto documéntase do mesmo xeito, pero en referencia a cada un dos procesos unitarios dos que estea composto e as súas relacións.
- A documentación está dividida en diferentes campos, tales como tipo de dato, data... para facilitar a documentación e a interpretación deste.
- Estes datos tamén describen as entradas e saídas de cada proceso, de xeito que apoian aos cálculos a realizar nun ACV.

- **ECOSPOLD**

O formato ECOSPOLD foi creado partindo do formato SPOLD99 (unha versión anterior) e adaptándoo aos requisitos esixidos pola Norma ISO 14048. É un formato de intercambio de datos baseado en XML (eXtensible Markup Language), polo que é compatible con bases de datos, editores de texto, follas de cálculo tipo Excel...

A día de hoxe é o formato de intercambio de datos máis estendido dos existentes, xa que as principais ferramentas de ACV utilizan este formato para facilitar a importación, edición e exportación de datos.

Estes datos tamén describen as entradas e saídas de cada proceso, de xeito que apoian aos cálculos a realizar nun ACV.

- **SPINE**

Coñecida como SPINE (Sustainable Product Information Network for the Environment), a súa estrutura foi desenvolvida co fin de permitir a comunicación entre diferentes ferramentas software de ACV. Segue a estrutura dunha base de datos relacional desenvolvida en linguaxe de alto nivel SQL.

Este formato foi utilizado para crear a base de datos nacional de ACV en Suecia, denominada SPINE@CPM Database, e posteriormente foi estendido para incluír os datos necesarios de acordo co modelo de avaliación de impactos ambientais recollido na entón ISO 14042:2000, extensión que recibiu o nome de IA98.

A continuación lístanse unha serie de bases de datos de uso habitual nos ACV. Aínda que de xeito xenérico se denominen bases de datos, a realidade é que estas adoitan integrar ámbolos dous tipos: bases de datos de ICV e bases de datos de metodoloxías. Son polo tanto bases de datos integradas.

BASES DE DATOS	FONTE	Nº DATOS ICV	CARACTERÍSTICAS
Ecoinvent	Ecoinvent Centre	4.000	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos en tódalas áreas (agricultura, transporte, materiais de construción...). ▪ Está ben documentada e é consistente. ▪ Inclúe datos de indeterminación. ▪ Actualizada cada 6 meses.
IVAM LCA	IVAM UvA bv	1.300	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliación da exposición a substancias ou procesos perigosos. ▪ Mapas das características toxicolóxicas das substancias químicas.
GaBi databases 2006	PE International GmbH, Germany. Universidade de Stuttgart, Alemaña	2.300	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recopilación de datos primarios directamente de empresas, asociacións e organismos públicos. ▪ Datos de tódalas áreas (agricultura, edificación e construción, enerxía,...). ▪ Introducción e actualización da información anualmente.
ETH – ESU 96	ETH-ESU, Suíza	1.181	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos da produción e importación de produtos. ▪ Produción e comercialización de electricidade. ▪ Emisións da extracción da enerxía primaria,

			refinado, extracción de recursos minerais, produción de materias primas e materiais en xeral.
GEMIS 4.4.	Instituto de ecoloxía aplicada, oficina Darmstadt, Alemaña	1.000	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos sobre a enerxía, materiais e medios de transporte. ▪ Datos sobre as emisións de CO₂ dos materiais.
IDEMAT 2001	Universidade de tecnoloxía de Delft, Holanda.	507	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Base de datos informatizada. ▪ Datos sobre as materias primas e recursos empregados no deseño de produtos. ▪ Información técnica sobre materiais e procesos industriais. ▪ Permite comparación entre materiais. ▪ Permite copiar datos e cadros para emprego noutros programas. ▪ Posibilidade de creación e introdución de novos datos.
FRANKLIN US LCI	Franklin Associates Ltd, USA / Laboratorio nacional de enerxía renovable, USA. Sylvatica, USA / Athena Instituto materiais sostibles, Canadá.	355	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos que contabilizan a enerxía e o uso de recursos, así como as cargas ambientais do ciclo de vida completo dos produtos. ▪ Os valores inclúen os consumos de materias primas, enerxía, emisións e consumo de auga, en cada paso da fabricación.
Data Archive	Instituto de Xestión De Residuos de Plástico (PwMI), Xapón. Oficina Federal para o Ambiente, Suíza. Universidade Chalmers de Tecnoloxía, Suecia.	354	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inclúe inventario de datos de consumo de enerxía e materias primas. ▪ Contabilización das emisións xeradas na fabricación dos plásticos. ▪ Inclúe datos da análise dos impactos xerados no procesamento dos produtos.
BUWAL 250	Oficina federal de medioambiente, Suíza	286	<p>Referencias e información sobre os datos que contén.</p> <p>Datos sobre os materiais de empaquetado, procesos de produción, procesos de distribución e tipos de eliminación.</p>

Figura 7.4: Bases de datos aplicables á análise do ciclo de vida dos produtos⁷.

A principal vantaxe dos ACV é a súa aceptación polos diferentes grupos ou sectores da sociedade implicados co medio, posto que a transparencia e obxectividade que caracterizan a esta ferramenta fan que os resultados que se obteñen co emprego da mesma teñan un alto grao de fiabilidade.

⁷ Elaboración propia a partir da información consultada.

Porén, e a pesar do amplo desenvolvemento que está tendo esta ferramenta, sendo empregada por moitas empresas na fase de desenvolvemento dos seus produtos, existen algunhas limitacións que impiden un uso maior da mesma:

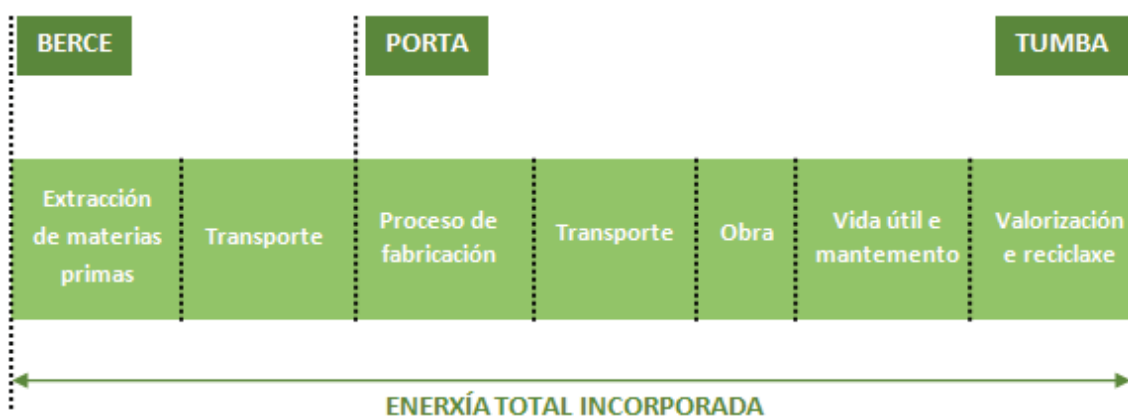
- Necesidade dunha forte inversión de tempo e coñecementos para desenvolver un ACV completo.
- Aspectos metodolóxicos pouco desenvolvidos: non existe un método único para realizar un ACV, xa que as distintas organizacións teñen flexibilidade para a súa realización, de acordo ca aplicación prevista e os requisitos da organización.
- Falta de bases de datos con valores adaptados a xeografía das distintas zonas e de acceso público, que fan que a aplicación dun ACV requira dun emprego maior de recursos e que os resultados obtidos sexan menos fiables.
- Pouco consenso internacional nalgúns fases (normalización e valoración).
- descoñecemento do uso do ACV por parte dunha importante porcentaxe dos profesionais involucrados en sistemas de produción.

7.2. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERXÉTICO DAS EDIFICACIÓNS

A Análise do Ciclo de Vida Enerxético é unha forma simplificada para a avaliación de impactos ambientais, mediante a estimación de consumos enerxéticos, empregando a enerxía como única medida de impacto ambiental. O ACVE facilita a toma de decisións relativa á eficiencia enerxética, podendo utilizarse para demostrar os beneficios das estratexias deseñadas no ciclo de vida, para a optimización da enerxía incorporada dun edificio.

O ciclo de vida da edificación ten asociada unha importante cantidade de enerxía, consumida en cada unha das súas fases: extracción, fabricación, construción, uso e mantemento e demolición. Trátase dun proceso dinámico, no que as decisións tomadas nunha fase condicionan a incidencia nas outras e no impacto global. Os fluxos enerxéticos presentes no ciclo de vida dunha edificación podémolos diferenciar en fluxos "estáticos", que non sofren variación unha vez dispostos e que forman parte do edificio e os fluxos "dinámicos", asociados ao uso do edificio, que dependerán da súa duración no tempo e da súa xestión⁸.

Podemos asociar ao ciclo de vida, os consumos enerxéticos presentes en cada unha das súas etapas, como se pode comprobar na seguinte figura.



A enerxía no ciclo de vida da edificación, ven definida na fórmula seguinte:

$$CVE = EI_i + EI_{rec} + (EO \times \text{vida útil de edificio}) + EI_{desc}$$

EI_i = enerxía inicial (producción materiais + construción)

EI_{rec} = enerxía recorrente para o mantemento futuro

EO = enerxía operacional anual, pola cantidade de anos de vida útil do edificio

EI_{desc} = enerxía de descarte

⁸ “La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos a partir de materiales de producción nacional”. Virginia Casañas.

7.3. DECLARACIÓNS AMBIENTAIS DE PRODUTO

As declaracións ambientais de produto (DAP) son certificados ou informes estándar que indican os aspectos ambientais dun produto e obtéñense como resultado da realización dunha análise do ciclo de vida. Son un método obxectivo de cuantificación do impacto ambiental dos procesos de fabricación dos produtos e requiren dunha verificación dos datos independente.

O desenvolvemento dunha DAP baséase na aplicación dun conxunto de regras específicas, requisitos e guías, que marcan como se debe realizar o estudo da análise do ciclo de vida do produto en cuestión. Estas directrices son as denominadas Regras de Categoría de Produto (RCP) e a súa aplicación permite que, nalgúns ocasións, se poidan comparar declaracións ambientais de produto de diferentes fabricantes.

As directrices son específicas para cada categoría de produto⁹, posto que a aplicación do ACV pode variar, segundo a función do produto, a incorporación de material reciclado ou a complexidade do proceso produtivo.

Segundo a ISO 14025 e a ISO 21930, a base para asignar os produtos ás categorías de produto debe ser que se poida aplicar a mesma unidade funcional ou a mesma unidade declarada. En calquera caso, é preciso realizar unha avaliación de cada caso e seguir o procedemento establecido para o desenvolvemento das regras de categoría de produto.

As DAP poden estar baseadas nunha análise de todo o ciclo de vida (“de berce a tumba”), ou ben nunha análise ata a etapa de produción (“de berce a porta”). Este aspecto deberá ser claramente definido nas regras de categoría de produto correspondentes.

As DAP forman parte dun conxunto máis amplo de etiquetaxe ecolóxica dos produtos e servizos, que poderíamos clasificar segundo os seguintes tipos:

- Etiquetaxe de tipo I: Outórganse por organizacións ou axencias como garantía das boas calidades ambientais dun produto, e normalmente avalían un só atributo.
- Etiquetaxe de tipo II: Trátase de reclamos que realiza o propio fabricante sobre algúns aspectos do seu produto.
- Etiquetaxe de tipo III: Conteñen datos cuantitativos baseados no ciclo de vida do produto, presentados dunha forma estandarizada por unha axencia certificadora externa. Son as contempladas na norma ISO 14025.

⁹ “Grupo de produtos que poden cumprir funcións equivalentes”. UNE-EN ISO 14025.

7.4. PEGADA DE CARBONO

A pegada de carbono é unha etiqueta ecolóxica empregada para describir o cálculo das emisións de tódolos gases de efecto invernadoiro asociados ás organizacións, eventos, actividades ou ao ciclo de vida dun produto, en orde a determinar a súa contribución ao cambio climático e exprésase en toneladas de CO₂ equivalentes.

É un instrumento para determinar, avaliar e comunicar o efecto dos produtos, servizos e organizacións no cambio climático.

Esta ferramenta pretende cuantificar a cantidade de emisións de GEI que son liberadas á atmosfera debido as actividades cotiás ou á comercialización dun produto.

Esta análise abarca a totalidade das actividades do ciclo de vida “de berce a tumba”, permitindo coñecer a contaminación xerada como resultado dos procesos de obtención dos distintos materiais.

A medición da pegada de carbono dun produto identifica as fontes de emisións de GEI do mesmo. Isto permite definir mellores obxectivos, políticas de redución de emisións máis efectivas e iniciativas de aforro de custos mellor dirixidas, todo elo consecuencia dun mellor coñecemento dos puntos críticos para a redución de emisións, que poden ser ou non, responsabilidade directa da organización ou empresa.

O cálculo da pegada de carbono xira sobre o ciclo de vida do produto. Trátase de analizar, identificar e cuantificar en todas e cada unha das etapas do proceso, as emisións de GEI, e en particular de CO₂.

Esta visión ambiental que ten unicamente en conta unha categoría de impacto pode ocasionar problemas de interpretación dos resultados obtidos, ao ter omitido o resto de impactos ambientais. É dicir, pode que no que respecta a emisións equivalentes de CO₂, o sistema analizado non teña unha problemática ambiental especial, pero que noutra categoría de impacto ambiental si que a teña.

Para o cálculo existe na actualidade unha metodoloxía específica, PAS 2050, desenvolvida polo British Standard Institute. É unha metodoloxía técnica rigorosa para medir os gases de efecto invernadoiro de bens e servizos ao longo do seu ciclo de vida, dende a produción das materias primas ata o seu consumo e envasado.

A metodoloxía PAS 2050 fai distinción entre dous tipos de ciclos de vida en función do produto:

- Bussiness to bussiness, cando o ciclo de vida considerado do produto finaliza coa entrega do mesmo a outra organización para que o empregue na elaboración doutro produto.
- Bussiness to customer: cando se considera o ciclo de vida completo do produto, incluídas as actividades posteriores á entrega do produto ao cliente/usuario.

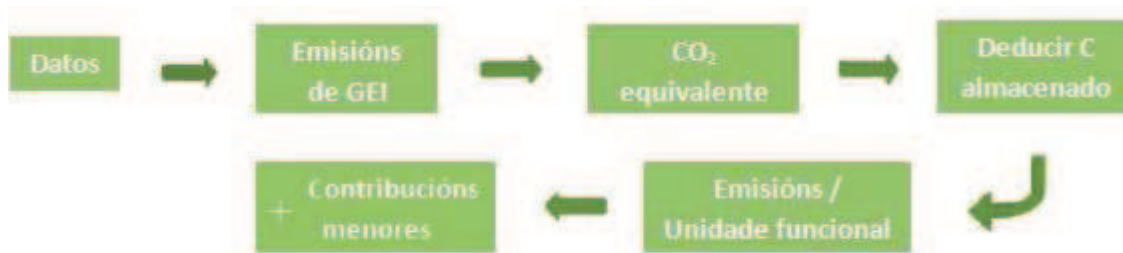
PAS 2050 inclúe moita información práctica para a avaliación do ciclo de vida, por exemplo, no anexo A inclúese a lista dos gases que deben incorporarse nas avaliacións. Establece que as emisións deben medirse en masa e converterse a emisións de CO₂ empregando os derradeiros coeficientes de conversión IPPC dispoñibles e que inicialmente non deben aplicarse coeficientes multiplicativos para as emisións procedentes de aeronaves, ata que non exista consenso científico en relación a dita cuestión. Ademais, o período a considerar para a análise do ciclo de vida debe de ser de 100 anos.

Adicionalmente, require que se consideren como mínimo, toda unha serie de fontes de emisión tales como o emprego de enerxías, os procesos de combustión, a reacción química e as perdas de gases refrixerantes e outros gases volátiles.

En relación ás fontes de emisións, establécense especificacións moi concretas en relación con:

- As emisións de CO₂ e outros gases procedentes do emprego de carbón fósil e vexetal.
- Carbono almacenado en produtos, incluíndo a metodoloxía a empregar para o cálculo das emisións de CO₂ procedentes de dito carbono incorporado.
- Inclusión das emisións de gases de efecto invernadoiro procedente do cambio na utilización do terreo.

Para o proceso de cálculo de emisións, establécense os requisitos para realizar estes cálculos. O método considera cinco etapas¹⁰:



¹⁰ “PAS 2050. Cálculo da pegada de carbono”.

- Conversión de datos primarios e secundarios en emisións de gases de efecto invernadoiro.
- Conversión das emisións a CO_{2e}.
- Cálculo do carbono almacenado no produto en CO_{2e}.
- Cálculo das emisións de gases de efecto invernadoiro por unidade funcional de produto.
- Cálculo final de emisións considerando materias primas ou procesos menores que fosen excluídos da análise do ciclo de vida.
- Declaración de conformidade.

7.4.1. Normalización da medición de GEI

A familia de normas ISO comprendidas entre a ISO 14064 e a 14069 teñen como obxectivo dar credibilidade e asegurar ás noticias de emisión de GEI e ás declaracións de redución ou eliminación de GEI. As normas non están aliñadas con ningún esquema particular, máis ben son independentes e poden ser usadas por organizacións que participan no comercio, en proxectos ou en mecanismos voluntarios de redución de emisións. As normas pódense aplicar a todos os tipos de GEI, non estando limitada ao CO₂. Vexamos máis a detalle cada unha de elas:

- **UNE-EN ISO 14064:2006**

A norma UNE-EN ISO 14064, rexe as especificacións e orientacións a nivel das organizacións para a cuantificación e a declaración das emisións e reducións de gases de efecto invernadoiro.

Esta norma detalla os principios e requisitos para o deseño, desenvolvemento e xestión de inventarios de GEI para compañías e organizacións, e para a presentación de informes sobre ditos inventarios. Inclúe requisitos para determinar os límites das emisións de GEI, cuantificar as emisións e remocións de GEI da organización e identificar as actividades ou orientacións para a xestión da calidade do inventario, o informe, a auditoría interna e as responsabilidades da organización nas actividades de verificación.

Dita norma componse de tres partes, pero a que mellor se axusta ás competencias deste proxecto é a UNE-EN ISO 14064-1: Especificacións e orientacións, a nivel da organización, para a cuantificación e a declaración das emisións e reducións de gases de efecto invernadoiro.

Establécese a marcade dos límites operativos, dentro dos cales as empresas deberán cuantificar tódalas emisións que se produzan, proceder á súa clasificación dependendo de se son directas, indirectas por enerxía ou outras tipoloxías de emisións¹¹, realizar o seguimento das mesmas e informar.

Dentro dos límites da organización, débense cuantificar e documentar as emisións e remocións de GEI completando as seguintes fases:

- Identificación de fontes e sumidoiros de GEI.
- Selección da metodoloxía de cuantificación.
- Selección e recolleita de datos da actividade de GEI.
- Selección ou desenvolvemento dos factores de emisión ou remoción de GEI.
- Cálculo das emisións e remocións de GEI.

Tamén se ofrecen directrices para a realización do inventario de GEI, para levar a cabo a xestión da calidade de dito inventario, para proceder á realización dos informes sobre GEI, e para establecer as funcións da organización nas actividades de verificación dos datos e do inventario.

• **ISO 14065:2007**

A norma ISO 14065:2007: “Gases de efecto invernadoiro. Requisitos para os organismos que realizan a validación e a verificación de gases de efecto invernadoiro, para o seu uso en acreditación ou outras formas de recoñecemento”, foi desenvolvida para asegurar os procesos de verificación e validación, e define requisitos para aquelas organizacións que realicen validacións ou verificacións de GEI.

Estas organizacións poden realizar verificacións de datos xestionados segundo a norma ISO 14064-3 ou segundo outros criterios específicos, tales como esquemas de comercio de emisións ou normas corporativas.

• **ISO 14066:2012**

A norma ISO 14066:2012 “Gases de efecto invernadoiro. Requisitos de competencia para os equipos de validación e de verificación de gases de efecto invernadoiro”, define os requisitos que competen para realizar as actividades de validación e verificación de GEI. A ISO 14066 encárgase de achegar os detalles sobre competencias persoais non contemplados na norma ISO 14065 de acreditación de organismos de validación/verificación de GEI.

¹¹ Emprégase a mesma clasificación de emisións de gases de efecto invernadoiro que noutras metodoloxías de cálculo, como por exemplo no Protocolo de Gases de Efecto Invernadoiro.

- **ISO/TS 14067:2013**

Establece os principios, requisitos e directrices para a cuantificación e comunicación da pegada de carbono de produtos, incluíndo tanto os produtos e servizos, baseados nas emisións e absorcións de Gases de Efecto Invernadoiro (GEI) durante o ciclo de vida do produto.

A especificación, que se basea noutras normas ISO e tamén en PAS 2050, creada por BSI, ten como gran novidade a inclusión de requisitos para a comunicación. Neste sentido, proporciónanse os procedementos para garantir tanto a transparencia coma a credibilidade.

A verificación da pegada de carbono consiste na comprobación, por unha terceira parte independente, de que o cálculo realizado polo subministrador do produto cumpre cos requisitos diso 14067.

- **ISO/TR 14069:2013**

Recolle as directrices básicas de aplicación da norma ISO 14064-1. Ten como obxectivo definir unha sistemática para a realización da pegada de carbono por parte das organizacións, así como a posterior elaboración da información de emisións de GEI.

7.4.2. Metodoloxías de cálculo da pegada de carbono dunha empresa ou produto

Para este alcance existen metodoloxías tanto de carácter obrigatorio (como a que establece a Directiva 2003/87/CE en relación ao Réxime Europeo de Dereitos de Emisión de GEI, para aquelas empresas que se vexan afectadas por ela) como de carácter voluntario (como o Greenhouse Gas Protocol-GHG Protocol).

A norma UNE-ISO 14064:2006 tamén especifica o modo a través do cal debería de levarse a cabo o cálculo da pegada de carbono dunha empresa ou dun proxecto.

A compañía Carbon Trust, xunto co Defra e a BSI British Standards elaboraron unha especificación pública, a PAS 2050:2008, en relación ao cálculo das emisións de GEI de bens e servizos ao longo do seu ciclo de vida.

De entre as metodoloxías de cálculo de emisións de GEI, recóllense e detallan a continuación as máis difundidas e implantadas:

METODOLOXÍA	GEI CONTEMPLADOS	CARACTERÍSTICAS
Panel intergubernamental sobre o cambio climático (IPCC)	Dióxido de carbono. Metano. Óxido nitroso. Hidrofluorocarbonos. Perfluorocarbonos. Hexafluoruro de xofre. Trifluoruro de nitróxeno. Trifluorometil Pentafluoruro de xofre. Éteres haloxenados. Outros halocarbonos non cubertos polo Protocolo de Montreal.	<p>O seu obxectivo é analizar, de forma exhaustiva, obxectiva, aberta e transparente, a información científica, técnica e socioeconómica relevante para entender os elementos científicos do risco que supón o cambio climático provocado polas actividades humanas, as súas posibles repercusións e as posibilidades de adaptación e atenuación do mesmo.</p> <p>Avala a Convención Marco das Nacións Unidas sobre o Cambio Climático (CMCC) mediante a súa labor sobre as metodoloxías relativas aos inventarios nacionais de gases de efecto invernadoiro.</p>
Green house gas protocol (GHG)	Dióxido de carbono Metano Óxido de nitróxeno Hidrofluorocarbonos Perfluorocarbonos Hexafluoruro de xofre	<p>Desenvolveron o que chaman "O Estándar Corporativo de Contabilidade e Noticia", o cal ofrece estándares e orientación para as compañías e outras organizacións que estean preparando un inventario de GEI. Comprende dous estándares distintos, aínda que vinculados entre si:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Estándar corporativo de contabilidade e noticia do protocolo de GEI: Guía para empresas interesadas en cuantificar e reportar as súas emisións de GEI. – Estándar de cuantificación de Proxectos do Protocolo de GEI: Guía para a cuantificación de reducións de emisións de GEI derivadas de proxectos específicos. <p>Está a desenvolver un novo estándar para a contabilidade e noticia das GEI de produto e cadea de subministración. O novo estándar incluírá documentos de orientación en torno á cuantificación ao longo do ciclo de vida e a cuantificación e noticia correspondente a toda a cadea de valor dunha organización.</p> <p>A partir das metodoloxías existentes, os futuros documentos guía ofrecerán procesos estandarizados para o inventario de emisións GEI das compañías ao longo da cadea de valor e para unha mellor incorporación dos impactos dos GEI na toma de decisións, baseados nunha perspectiva de ciclo de vida.</p> <p>As ferramentas de cálculo desenvolvidas polo GHG Protocol permiten ás compañías desenvolver inventarios sinxelos e fiables. A tipoloxía de ferramentas varía en función do sector industrial no que se vaian aplicar e baséanse no establecido polo IPCC para a recollida de datos a nivel nacional, pero foron refinadas para un público sen coñecementos técnicos sobre a materia.</p>

<p>PAS 2050:2008 Assessing the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services</p>	<p>Dióxido de carbono Metano Óxido nítrico Hidrofluorocarbonos Perfluorocarbonos Hexafluoruro de xofre Trifluoruro de nitróxeno Trifluorometil pentafluoruro de xofre Éteres haloxenados. Outros halocarbonos non cubertos polo Protocolo de Montreal.</p>	<p>Sistema de certificación Británico creado co fin de especificar os requisitos para a avaliación das emisións de gases de efecto invernadoiro no ciclo de vida de bens e servizos. Estas especificacións serán aplicables tanto ás organizacións que avalían as emisións GEI de produtos ao longo do seu ciclo de vida, como a organizacións que avalían esas emisións dende o “berce á porta”.</p> <p>A través deste sistema tense en conta a categoría de impacto de quentamento global e as emisións GEI mídense en masa e convértense a CO_{2e} usando os coeficientes de GWP que propón o IPCC.</p> <p>A avaliación deberá incluír as emisións relativas a procesos, entradas e saídas ao longo do ciclo de vida, incluíndo pero non limitándose ás seguintes etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Uso de enerxía. – Procesos de combustión. – Reaccións químicas. – Perdas de refrixerantes e outros gases fuxitivos. – Operacións. – Servizos de aprovisionamento e envío. – Cambio do uso do chan. – Procesos agrícolas. – Residuos. <p>Para calcular as emisións de GEI asociadas á Unidade Funcional dun produto seguirase a seguinte metodoloxía:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Conversión dos datos de actividade primaria e datos secundarios en emisións GEI. Multiplícanse os datos de actividade polo factor de emisión para cada actividade. Este resultado será rexistrado como emisión de GEI por unidade funcional de produto. – Conversión dos datos de emisións GEI a emisións de CO₂ equivalentes, multiplicando cada dato de emisión polo seu GWP. – O impacto derivado do almacenamento de carbono asociado ao produto expresarase en CO_{2e} e descontarase do total de emisións. – Sumaranse todos os resultados obtidos para obter as emisións de GEI en termos de CO_{2e} por unidade funcional. – Revisaranse as emisións tendo en conta materias primas e actividades pouco significativas que se desprezasen nas primeiras etapas.
--	--	--

Figura 7.5: Metodoloxías de cálculo da pegada de carbono¹².

¹² Elaboración propia a partir da información consultada.

7.4.3. Ferramentas para a medición da pegada de carbono

A continuación descríbense as principais ferramentas existentes hoxe en día para a estimación dos GEI, por ser a súa aplicación a máis estendida e implantada.

As ferramentas poden conter datos de múltiples sectores ou ser específicas para a aplicación concreta nun sector.

En ocasións créanse ferramentas para a súa aplicación específica a unha lexislación ou normativa. Outras veces, o obxectivo da ferramenta é sensibilizar sobre a problemática do cambio climático á poboación e achegar ás persoas que carecen de coñecementos técnicos as metodoloxías ou os medios para calcular a súa pegada de carbono, coa posibilidade, segundo que ferramentas, de compensar a devandita pegada.

Por estas razóns, as ferramentas de medición da pegada de carbono poden ter un enfoque de aplicación xenérico, sectorial, ou consistir en ferramentas en liña sinxelas e intuitivas de utilizar.

FERRAMENTA	ENTIDADE	DESCRIPCIÓN
GABI SOFI	PE International	A consultora PE INTERNATIONAL traballa en torno á pegada de carbono en dúas vertentes: <ul style="list-style-type: none"> Corporacións: a metodoloxía empregada para a estimación da pegada baséase no ACV, traballando de acordo co establecido nos protocolos existentes, tales como, o Protocolo GHG, a ISO 14064 e a PAS 2050. Os factores de emisión para as operacións indirectas fan referencia á Base de Datos de Ciclo de Vida da UE. O software SoFi é a solución ofrecida e integra a pegada de carbono das organizacións e a súa cadea de subministración. Produto: O ACV de acordo á ISO 14044 (cuberto tamén pola PAS 2050) é a metodoloxía elixida para a determinación da pegada de carbono dun produto. O software GaBi é a solución técnica ofrecida. Os datos primarios específicos correspondentes ás análises da propia compañía poden combinarse con datos acerca de emisións GEI recollidos na base de datos de GaBi.
AUTODESK INVENTOR	AUTODESK	Este asistente serve de axuda na toma de decisións para a selección de materiais que poidan reducir o impacto ambiental producido por un produto. Ofrece amplos inventarios de materiais con campos nos que engadir propiedades de sostibilidade e materiais usados habitualmente, e informes de sostibilidade para analizar e documentar o impacto ambiental dos materiais seleccionados, posibilitando o cálculo da pegada de carbono do deseño ao completo.
CARBON FOOTPRINT CALCULATOR	CARBON FOOTPRINT	Recolle unha serie de ferramentas para o cálculo das emisións asociadas con diferentes actividades de negocios e domésticas. Os cálculos das emisións primarias baséanse en factores de conversión tratados por diferentes institucións como o Ministerio de medio ambiente, alimentación e asuntos rurais do Reino Unido.

		Os cálculos das emisións secundarias baséanse en estimacións desenvolvidas pola propia empresa para ilustrar así o impacto no ambiente das actividades diarias.
ESS GHG/ CARBON SOLUTION	ESS	Plataforma integral con ferramentas válidas para asesorar diferentes actividades de negocio na xestión e comunicación dos datos de GEI asociados a produtos, á cadea de subministración e localizacións dende a planta ata a sala de xuntas. Apoia ás organizacións na obtención de datos e na noticia dun inventario de emisións de carbono verificable, o desenvolvemento de estratexias de negocio e ferramentas de análise, e axuda aos usuarios na avaliación da execución das estratexias de carbono, na distribución de tarefas e na comunicación.
E2CO2CERO	LKS, IK Ingeniería, Ecoingenium e Pacay	Ferramenta informática que permite calcular de forma sinxela a Enerxía Incorporada e a Pegada de Carbono dun edificio, atendendo aos materiais empregados e os procesos construtivos utilizados durante a fase de construción. A metodoloxía para a realización da base de datos consiste nun ACV que contempla tódalas fases ata a posta en obra nos edificios (non é completo). Permite importar o presuposto de proxecto, en formato .bc3 e sen necesidade de introducir datos adicionais, calcula a enerxía incorporada e as emisións de CO ₂ asociadas ao devandito proxecto. A base de datos do software só é compatible cos proxectos cuxo presuposto fose realizado coa base de prezos “Prezo Centro de Guadalaxara 2013 e 2014.
INTELEX TECHNOLOGIES	INTELEX	O Módulo de Rastrexo de GEI de INTELEX permite aos usuarios configurar os puntos e factores de emisións a nivel de organización. Todos os datos de actividade (electricidade, uso de caldeiras, uso de vehículos...) traspóñense de xeito directo a indicadores de gases de efecto invernadoiro e tradúcense na xestión ao máis alto nivel mentres que se mantén a integridade dos datos de localización.
CEMENT CO ₂ PROTOCOL	Cement Sustainability Initiative	Os métodos básicos para os cálculos propostos por este Protocolo, teñen como referencia as Guías IPCC. O inventario proposto polo Protocolo da industria do cemento, diferencia entre dous tipos de fontes de emisión: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Emisións directas. ▪ Emisións indirectas.
CONSTRUCTION CARBON CALCULATOR	Build Carbon Neutral	Calculadora de carbono para a construción que permite estimar as emisións de CO ₂ asociadas a todo un proxecto de a construción. Esta ferramenta axuda a aproximarse ás emisións derivadas dun proxecto da construción. Mediante o uso da calculadora de carbono conséguense estimacións acerca da enerxía e as cantidades de carbono asociadas durante o proceso de construción. As medicións teñen en conta os materiais de construción, procesos e o carbono emitido debido á degradación do ecosistema ou o carbono secuestrado mediante instalacións ou restauración.
SAFE CLIMATE CARBON FOOTPRINT CALCULATOR	World Resources Institute	Determina as emisións de CO ₂ derivadas das fontes principais de emisión: consumo doméstico de enerxía e transporte por coche e avión. A pegada de Carbono asociada aos hábitos de cada persoa, baséase en dúas áreas principais do uso de enerxía. A metodoloxía de cálculo baséase no establecido pola iniciativa GHG Protocol.
CERO CO ₂	CERO CO2	CeroCO2 é unha iniciativa que pretende sensibilizar á sociedade sobre a necesidade de iniciar unha acción inmediata contra o

		quentamento do planeta, para o que ofrece ferramentas para calcular, reducir, e compensar as emisións de CO ₂ .
CALCULADORA DE CO ₂	GREENPEACE	Ferramenta en liña grazas a cal se poden estimar as emisións de CO ₂ producidas nas actividades diarias, tanto en edificación (consumo de electricidade, gas, petróleo...) coma en transporte.
COOLCLIMATE CARBON FOOTPRINT CALCULATOR	Berkeley University	A Universidade de Berkeley, elaborou dúas calculadoras para a estimación da pegada de carbono: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unha das calculadoras permite estimar as emisións asociadas ás viaxes realizadas en avión así como visualizar o custo recomendado para a súa compensación. ▪ A outra basea a estimación das emisións de CO₂ en datos con respecto ao uso do transporte, tipoloxía de vivenda, alimentación, bens e servizos,...
FOOTPRINT CALCULATOR	WWF	Esta ferramenta para o cálculo da pegada de carbono, ten en conta aspectos diferenciados en catro apartados: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alimentación. É necesario incluír datos achega do tipo de dieta. ▪ Transporte. ▪ Vivenda. ▪ Outros. Analízase a adquisición de electrodomésticos, xoiaría, ferramentas, mascotas...
AIR CALCULADORA	Fundación Reduce Tu Huella	É un instrumento que permite a cada persoa ou pequena empresa coñecer cales son as súas emisións mensuais de CO ₂ . Así mesmo, permite descubrir como neutralizar esa pegada de carbono, é dicir, como compensar estas emisións producidas pola actividade cotiá do interesado. As metodoloxías utilizadas para o deseño desta calculadora desenvóléronse de acordo ás directrices do IPCC para elaborar os inventarios nacionais de GEI.
CALCULADORA DE CO ₂	Arboliza	Calculadora en liña que permite realizar a estimación de emisións de CO ₂ provocadas polo consumo eléctrico e polo transporte. O obxectivo desta plataforma é que os usuarios coñezan a súa pegada de carbono e a minimicen mediante a plantación de árbores, xa que levan unha contabilidade da plantación das mesmas polo afiliados á súa organización.
E-CO ₂ CALCULADORA	CLEARENERGY SOLAR	Permite aos cidadáns e empresas coñecer as súas emisións de gases de efecto invernadoiro, de tal xeito que poidan fixar uns obxectivos claros de sostibilidade, e adoptar medidas correctoras en materia de aforro de enerxía e consumo de combustibles e recursos para fomentar a eficiencia en todos os sectores.

Figura 7.6: Ferramentas de cálculo da pegada de carbono¹³.

¹³ Elaboración propia a partir da información consultada.

7.5. PROTOCOLO DE GASES DE EFECTO INVERNADOIRO

A iniciativa do Protocolo de Gases de Efecto invernadoiro é unha alianza entre varias empresas, organizacións non gobernamentais (ONG), gobernos e outras entidades, convocada polo Instituto de Recursos Mundiais, unha ONG radicada en Estados Unidos e o consello Mundial Empresarial para o Desenvolvemento Sustentable. Dita coalición integrada por 170 empresas internacionais, foi lanzada ca misión de desenvolver estándares de contabilidade e reporte para empresas aceptados a nivel internacional, e promover a súa ampla adopción.

O Estándar Corporativo de Contabilidade e Reporte do Protocolo de GEI (ECCR) ofrece estándares e liñas para empresas e outras organizacións interesadas en preparar un inventario de emisións de GEI. Cubre a contabilidade e o reporte dos seis gases previstos no Protocolo de Kioto (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofleurcarbonos, perflourocarbonos, hexafloruro de xofre).

Para axudar á delinear as fontes de emisións directas e indirectas, mellorar a transparencia e prover utilidade para distintos tipos de organizacións, defínese o límite operacional das empresas, aportando tres alcances¹⁴ para os propósitos de contabilidade e reporte dos GEI:

1. Emisións directas de GEI: ocorren en fontes que son propiedade ou están controladas pola empresa. Exclúense neste alcance as emisións procedentes da combustión de biomasa, e aquelas procedentes de GEI que non contempla o protocolo de Kioto.
2. Emisións indirectas de GEI asociadas á electricidade: neste alcance inclúense as emisións da xeración de electricidade adquirida e consumida pola empresa.
3. Outras emisións indirectas: compréndense as emisións que son consecuencia das actividades da empresa, pero que ocorren en fontes que non son propiedade nin están controladas pola mesma.

Este protocolo define a necesidade de contabilizar as emisións durante un período longo de tempo, para poder levar a cabo comparacións significativas da evolución das emisións. Para elo, désígnase unha base de desempeño contra a cal comparar as emisións actuais, denominada ano base. As empresas deben escoller un ano base para o cal exista información fiable de emisións.

Para levar a cabo unha contabilidade exacta das emisións, o protocolo establece cinco pasos para identificar e calcular as emisións dunha empresa, os cales quedan reflectidos na seguinte figura.

¹⁴ Estes alcances ou ámbitos son compartidos por outros estándares, como por exemplo o definido polo “Construction CO₂ measurement protocol”, co fin de homoxeneizar as metodoloxías de cálculo.

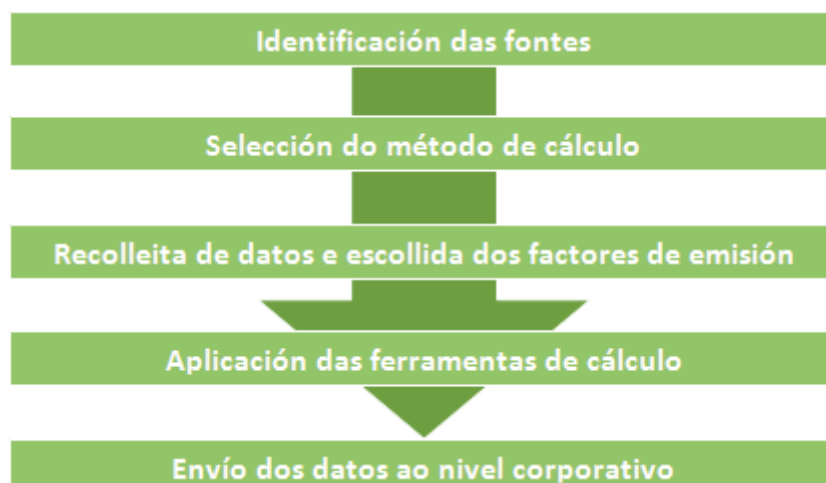


Figura 7.7: Fases precisas para realizar o inventario de GEI nunha empresa¹⁵.

Para a aplicación das directrices establecidas neste protocolo, na páxina web da iniciativa do protocolo de GEI están dispoñibles ferramentas de cálculo¹⁶. Recomenda o emprego de ditas ferramentas, xa que foron revisadas por expertos e líderes industriais, son actualizadas regularmente e crese que son as mellores dispoñibles.

Existen dúas categorías principais de ferramentas de cálculo:

- Ferramentas intersectoriais: poden ser aplicadas a distintos sectores.
- Ferramentas sectoriais: están deseñadas para calcular emisións en sectores específicos, como o aluminio, ferro e aceiro, cemento, petróleo e gas...

Cada unha das ferramentas ven acompañada dunha guía de utilización e un Excel de cálculo para cada caso en concreto, no que se calculan as emisións procedentes da fabricación dos distintos produtos, diferenciando entre emisións de CO₂, N₂O e CH₄.

¹⁵ Elaboración propia a partir da información aportada polo Protocolo de gases de efecto invernadoiro.

¹⁶ www.ghgprotocol.org/calculation-tools

7.6. ENERXÍA INCORPORADA NAS EDIFICACIÓNS

A enerxía é un factor determinante na consideración da sostibilidade. Calquera transformación física, de movemento ou conformación da materia, implica un uso de enerxía para poder produci-la, o que incide no ciclo produtivo completo dos materiais, dende a extracción de recursos, a súa transformación en produtos, a recuperación dos residuos e o seu reciclado de novo en recursos.

O uso de enerxía leva implícito o concepto de impacto, de incidencia e alteración no medio. As fontes enerxéticas predominantes no noso sistema técnico son obtidas de combustibles fósiles, o que caracteriza o consumo enerxético como un indicador de sostibilidade, a través da magnitude continua, medible e empregada en calquera tipo de proceso produtivo.

O primeiro consumo enerxético que debemos considerar é a enerxía invertida na fabricación dos materiais cos que construímos as nosas edificacións. Cada produto empregado nas nosas construcións sufriu un proceso de extracción de materias primas, transporte cara os centros de transformación, procesos de conformación, transporte cara os centros de distribución ou comercialización, e novamente transporte cara o lugar da execución da edificación. Cada paso implica un consumo de enerxía, aínda que os procesos de extracción e transformación son os máis significativos, dende o punto de vista enerxético.

7.6.1. Metodoloxías de análise da enerxía incorporada

A cuantificación da enerxía incorporada por calquera material, require mirar a longo prazo, o proceso completo de fabricación e utilización, e está cheo dun gran número de variables potencialmente significativas. En consecuencia a complexidade dos cálculos da enerxía incorporada é frustrante á hora de obter cifras exactas.

Afortunadamente, as cifras exactas non son absolutamente necesarias para tomar decisións sobre os materiais de construción a utilizar, para reducir a enerxía incorporada dunha estrutura. O que os deseñadores precisan, é recoñecer as diferenzas de potencial en relación á enerxía relativa incorporada, para tomar decisións sabias sobre o material e os sistemas a escoller.

Mesmo coa axuda de programas informáticos, o contido de enerxía de edificios completos, ou de diferentes materiais, é difícil de cuantificar, xa que a produción e construción de elementos construtivos, é un proceso longo e complexo que involucra moitas variables. Non existen normas de medición. Na práctica, cada investigador que estuda a enerxía incorporada, ten unha metodoloxía diferente para a cuantificación.

Algúns cálculos non inclúen os custos de eliminación final do material e pouco se sabe sobre os custos de eliminación a longo prazo da edificación. Algunhas medidas non inclúen o transporte, ou consideran só unha parte da enerxía de extracción da materia prima, involucrada na produción do material. Ademais, o tipo de combustible utilizado no procesamento, e o transporte de materiais pode afectar a cantidade de enerxía incorporada contida no produto final.

A enerxía consumida directamente en cada fase pode definirse e medirse claramente; non así a enerxía necesaria, indirectamente, para apoiar os principais procesos, xa que é menos evidente e máis difícil de medir. Isto inclúe a enerxía incorporada noutras entradas de bens e servizos, e a empregada pola maquinaria para apoiar estes procesos.

A enerxía incorporada total comprende a enerxía directa adquirida para apoiar o proceso en cuestión, máis a enerxía indirecta incorporada nas entradas para o proceso.

Tendo en conta estas consideracións, desenvolvéronse varios métodos para o cálculo da enerxía incorporada:

- Análise de Proceso
- Análise Estatística
- Análise por matrices de Insumo, por produto (Input - Output)
- Análise Híbrida

Análise de Proceso

En teoría, aínda que non na práctica, o método máis simple é a análise da enerxía incorporada coñecida como análise de procesos. Baséase na análise detallada de todas as etapas dun proceso de fabricación, discriminando, en cada etapa os consumos enerxéticos directos e indirectos.

O tempo e o esforzo requirido é a principal desvantaxe do método. Tamén é posible que certos datos non poidan obterse; non obstante, a análise de proceso produce resultados que son exactos e específicos.

A análise de proceso levado a cabo dos materiais consiste en establecer as entradas de enerxía directa para un proceso nunha fábrica e, logo, encamiñar as entradas de materias primas ao proceso. Na maioría dos casos, isto significa a obtención dunha cifra de enerxía, para cada materia constitutiva.

A norma ISO/TS 14048 exemplifica como elaborar o impreso de todos os eventos significativos e informacións relativas á realización dun inventario de datos. Para cada evento significativo será relevado o seu respectivo consumo enerxético, ata o nivel máis específico de enerxía incorporada posible. Cada etapa ten o seu inventario, segundo fluxogramas específicos.

Análise Estatística

Realizada a partir de estatísticas de fábricas, sectores industriais, ou órganos de goberno, sobre os consumos enerxéticos de produtos. É un método rápido que porén, non conta con datos consistentes, nin de confianza.

O método utiliza as estatísticas publicadas, para determinar o uso de enerxía polas industrias en particular. Trátase dun método útil e rápido se as estatísticas se manteñen consistentes, exhaustivas e suficientemente detalladas.

Análise por matrices de Insumo por Produto (Input - output)

O método de matrices insumo por produto, relaciona os resultados financeiros de sectores da economía, definindo o fluxo de moeda entre eles. A partir destes constrúese unha matriz de impacto intersectorial ou matriz de Leontief.

A enerxía indirecta utilízase para crear as entradas de bens e servizos do proceso principal, mentres que a enerxía directa utilízase directamente para o proceso principal, xa sexa na construción do edificio, montaxe de produtos ou fabricación do material.

O método de Leontief de entrada - saída, foi adaptado para a análise de enerxía incorporada por Hannon (1973), para describir os fluxos de enerxía dun ecosistema. A adaptación de Hannon, tabulaba os requirimentos enerxéticos totais, directos e indirectos, para cada saída, realizados polo sistema. A cantidade de enerxía total, directa e indirecta, polo importe total da produción chamouna "enerxía incorporada".

Análise Híbrida

O método de análise híbrida, combina as fortalezas da análise de procesos (cifras fiables do consumo de enerxía para os procesos particulares), cos da análise input-output, mentres que elimina, no posible, as súas debilidades inherentes (incompleto, erros).

A deficiencia maior do sistema de análise híbrida, é a falta de datos sobre o uso integral e fiable de enerxía da industria.

Debido a situación económica, social e ambiental na que nos atopamos hoxe en día, xorden novas preocupacións de cara a xestión dos recursos dos que dispoñemos. A xeración e consumo de enerxía é un dos puntos máis cuestionados, xa que o noso país depende en gran parte de fontes externas para o seu abastecemento.

Por outra banda, as novas normativas e obxectivos que se están establecendo dende Europa, promovidos a partir de acordos internacionais relacionados co cambio climático, están poñendo de manifesto a importancia do consumo enerxético e dentro deste, do consumo enerxético renovable.

Dentro desta atmosfera de cambios estruturais e de regulación na que estamos inmersos, a construción é un dos principais piares do xogo, xa que é dos maiores sectores consumidor e produtor de enerxía e emisións. Parece claro que levar a cabo unha contabilidade da enerxía precisa para a fabricación dos diferentes materiais e un baremo das emisións que provoca o seu procesamento, pode ser un factor relevante do impacto ambiental producido, e posicionarse como un valor determinante á hora de desenvolver os distintos proxectos.

A contabilización das emisións de CO₂ dentro das diferentes empresas, xa é unha metodoloxía de estimación ambiental bastante estendida no sector produtivo, debido á existencia de numerosas normativas que avalan a cuantificación das emisións dos gases de efecto invernadoiro. Non é tanto así no caso da enerxía incorporada, xa que non existe un método normalizado de análise nin ningunha normativa a seguir para a súa estimación.

Unha vez analizado o panorama tanto a nivel nacional como internacional, apréciase un gran baleiro á hora de intentar determinar os valores da enerxía incorporada dos distintos produtos, xa que non existe ningunha metodoloxía de cálculo a seguir ou un programa ou aplicación informática que nos sexa de apoio á hora de levar a cabo a contabilidade de kWh consumidos.

Por outra banda e debido ao armazón industrial e o sector da construción, a recollida dos datos necesarios para realizar a cálculo da enerxía incorporada pode ser unha ardua tarefa, xa que a maioría das empresas do sector non levan unha contabilidade individualizada do que se consume en cada proceso. Con sorte pódese atopar algunha compañía que facilite os valores de consumo dentro dun período concreto, por exemplo anual, cos que poder traballar para obter uns valores específicos de enerxía incorporada.

8.1. METODOLOXÍA DE CÁLCULO DA ENERXÍA INCORPORADA NUNHA VIVENDA

Como xa se mencionou en capítulos anteriores, a enerxía incorporada defínese como a enerxía final total, medida en kWh, consumida directa ou indirectamente nos procesos asociados cun produto ou servizo e durante todo o seu ciclo de vida. Isto inclúe todas as actividades levadas a cabo na extracción da materia prima, na fabricación dos produtos, no transporte, na construción, durante o mantemento e ao final da vida útil¹.

Moitas das definicións consultadas nas diferentes publicacións que se revisaron, reflicten que a enerxía incorporada fai referencia á enerxía primaria, non á enerxía final como se distingue neste proxecto. Escolleuse realizar os cálculos en base á enerxía final incorporada porque é o valor que realmente é de aplicación aos puntos de consumo, polo que tódalas persoas que traballen con este dato dispoñan dunha referencia máis clara do valor co que están tratando; son os mesmos kWh que poden ser consumidos en calquera vivenda e que aparecen na factura eléctrica e non se mesturan conceptos de enerxía final e enerxía primaria.

Para levar a cabo o cálculo da enerxía incorporada dunha vivenda é preciso ter en conta e de xeito diferenciado, tódalas etapas do ciclo de vida polas que pasa devandita edificación. Dentro de cada etapa, débense estudar tódolos consumos de combustibles e carburantes que se producen polo emprego da diferente maquinaria, vehículos, ferramentas..., para logo proceder a realizar o cómputo global da enerxía requirida.

Nun primeiro momento parece un cálculo sinxelo, nada máis que realizar a suma dos consumos que se producen durante a vida completa dunha edificación, pero dentro desta “a priori” sinxeleza, escóndese un espiñento traballo, xa que as distintas empresas e organizacións implicadas nalgunha das fases, non están preparadas para afrontar a determinación da enerxía que se asocia a unha vivenda.

Na maioría dos casos, non levan unha contabilidade individualizada dos consumos por cada material, polo que para realizar o cálculo, é necesario aplicar fórmulas estimativas para obter valores significativos e veraces.

Para afrontar este proceso de análise, desenvolveuse esta metodoloxía, que ofrece a posibilidade de calcular tanto a enerxía incorporada, como o carbono incorporado nunha edificación a través de fórmulas específicas e de elaboración propia.

¹ Elaboración propia a partir da información aportada polo documento “A method and tool for cradle to grave embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards”.

Existen distintas fases que atravesar para poder levar a cabo esta metodoloxía de cálculo. Estas quedan recollidas no seguinte esquema.

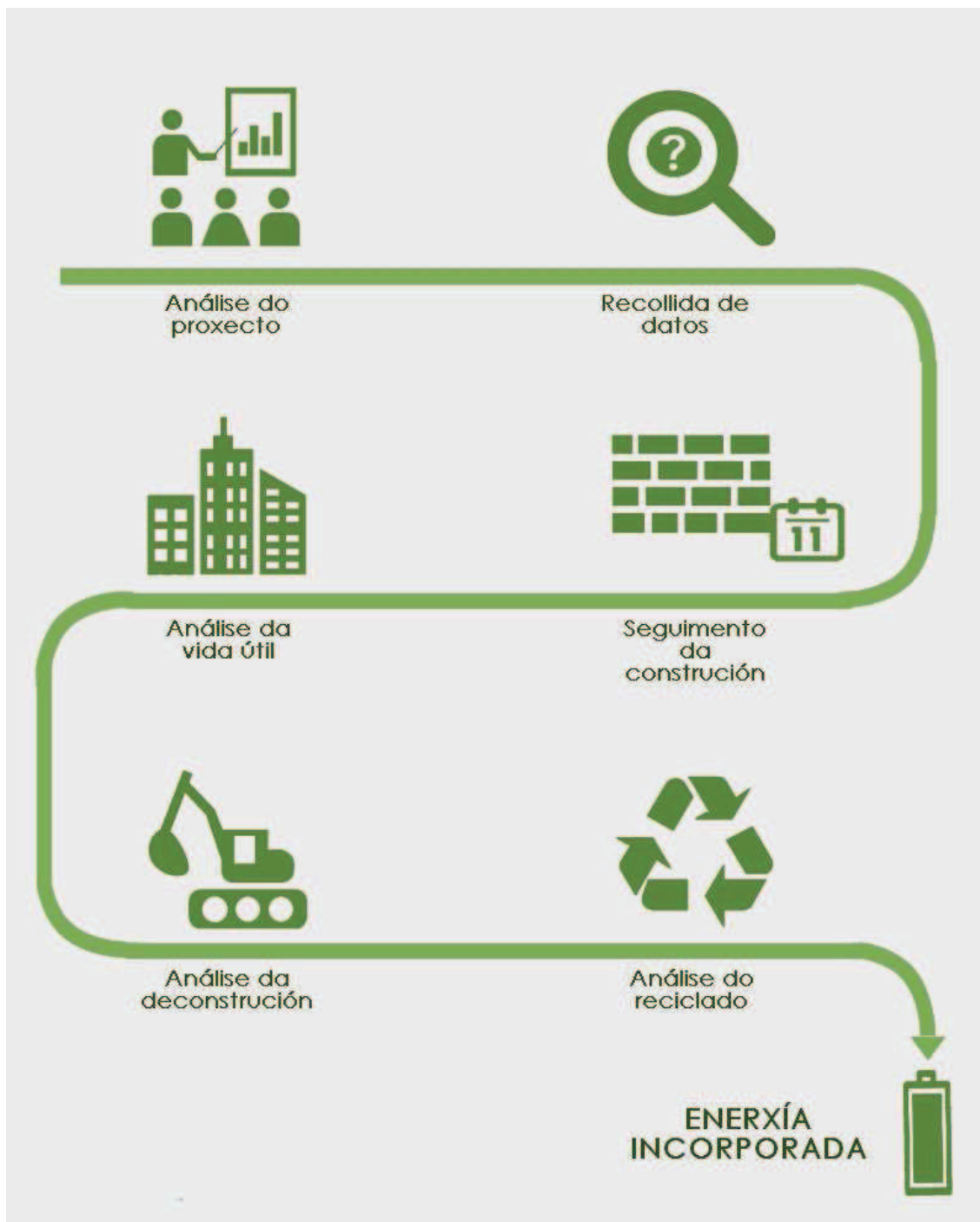


Figura 8.1: Etapas da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada².

² Elaboración propia das fases da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

8.1.1. Análise do proxecto

O primeiro paso que se debe realizar á hora de levar a cabo o cálculo da enerxía incorporada é a análise do proxecto que co que se vai a tratar. Débese facer unha revisión pormenorizada do proxecto, atendendo aos materiais que compoñen o edificio, facendo unha diferenciación entre capítulos de obra, para que o estudo estea máis definido e se poidan aportar os resultados tanto para a totalidade da obra, como por partidas, para ofrecer unha visión máis profunda da análise.

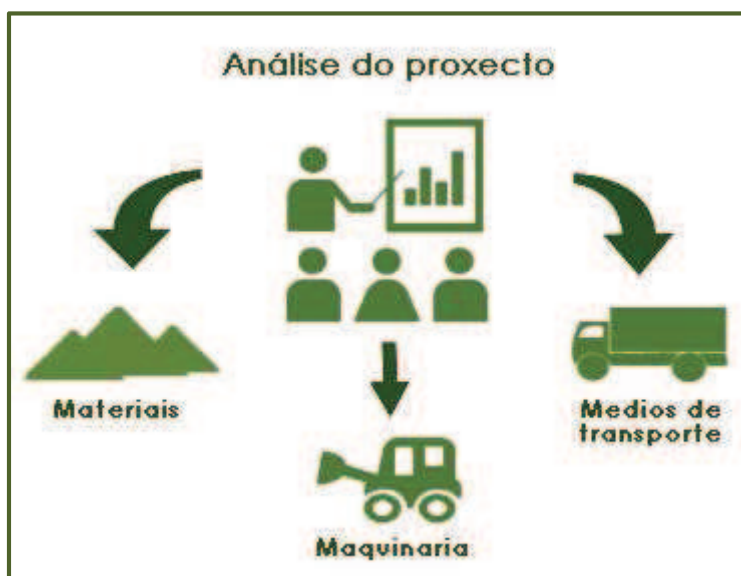


Figura 8.2: Etapa de análise do proxecto da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada³.

É preciso o coñecemento dos factores de emisión de tódolos materiais da obra para proceder ao cálculo enerxético. O ideal sería que este valor fose ofrecido polas empresas fabricantes de ditos produtos. No caso en que as empresas descoñezan estes valores, en capítulos posteriores explicarase o procedemento deseñado para esta metodoloxía para obtelos.

En segundo lugar e unha vez coñecida a localización da obra, é imprescindible coñecer a distancia que existe entre os diferentes puntos de subministro de materiais e a propia obra, para poder coñecer a enerxía incorporada que se produce no transporte ao lugar de construción de ditos materiais.

Por outra banda, tamén é preciso analizar a diferente maquinaria que se vai a empregar na obra (escavadoras, grúas, camiós,...), xa que dependendo da maquinaria

³ Elaboración propia mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

empregada, os traballos a realizar e os valores de rendemento das mesmas, os valores de enerxía incorporada variarán considerablemente.

Unha vez analizado o proxecto da obra, comeza a parte máis difícil de levar a cabo, a recollida dos distintos datos e valores precisos para levar a cabo os cálculos da enerxía incorporada.

8.1.2. Recollida de datos

O segundo paso que debemos levar a cabo para proceder ao cálculo da enerxía que se asocia a unha vivenda é facer a recolleita de tódolos datos precisos para o mesmo, incluíndo valores específicos asociados aos materiais, medios de transporte e maquinaria e/ou ferramentas.

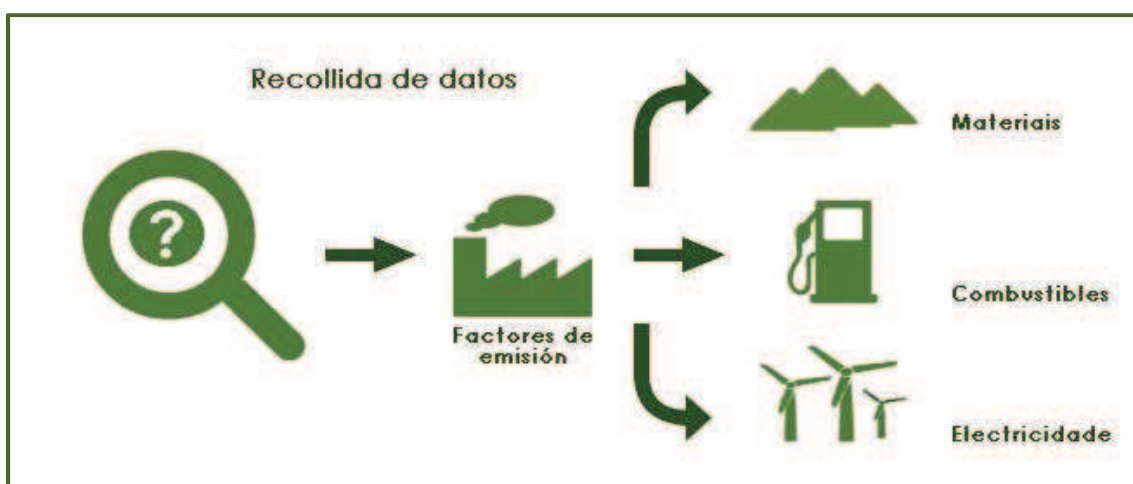


Figura 8.3: Etapa de recollida de datos da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada⁴.

Materiais

Neste proceso incorpórase a obtención dos diferentes factores de emisión enerxéticos dos materiais utilizados na construción da edificación, é dicir, o consumo da totalidade das fontes enerxéticas empregadas para a fabricación dos produtos, incluíndo dende a extracción das materias primas necesarias, ata o momento en que os materiais están preparados para o seu transporte e instalación en obra (“de berce a porta”).

⁴ Elaboración propia mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

Emprégase este valor de enerxía incorporada “incompleto” porque é o único que pode ser común a tódalas obras que se executen. A fase de transporte varía para cada unha delas, xa que a localización tamén cambia, polo que non é de aplicación un valor común para todas as obras. O proceso construtivo tamén depende dos medios humanos e mecánicos dos que se dispoña, polo que cada empresa terá o seu valor de enerxía incorporada específico. O mesmo ocorre no resto de fases dentro do ciclo de vida dunha edificación, son valores concretos e definidos para cada vivenda en particular, polo que non é razoable xeneralizar uns valores para todo o globo construtivo.

O ciclo total da enerxía incorporada nun material abarcando toda a súa vida útil, completárase aplicando as seguintes fases definidas por esta metodoloxía e a ferramenta de cálculo aportada.

O procedemento para o cálculo da enerxía incorporada nun material ata o punto de atoparse listo para a súa instalación, consiste en solicitar os valores de consumo que se producen na súa fabricación, tanto de carburantes e combustibles coma de electricidade.

O problema xorde cando as empresas non dispoñen destes datos, co que aparecen dúas opcións de proceder: que poidan ofrecer datos “en groso” e que con eles se poida realizar un cálculo estimado da enerxía incorporada, ou que non realicen ningún rexistro de consumo diferenciado ou non queiran aportalo e non se poida realizar ningún cálculo. Neste derradeiro caso, só queda como opción empregar os valores que nos ofrece algunha base de datos, preferiblemente de ámbito nacional, como por exemplo a base de prezos “Banco Estructurado de Datos de Elementos Construtivos” (BEDEC), que aporta valores medioambientais para o custo enerxético e para as emisións de CO₂.

Sempre será preferible realizar o cálculo cos valores que nos aportan as empresas e aplicar a ferramenta de cálculo desenvolvida para proceder con esta metodoloxía, xa que así tódolos datos estarán referidos aos mesmos factores de emisión. Se utilizamos outras bases de datos, estas empregarán para a análise distintos factores de emisión enerxéticos e de CO₂, xa que non existen uns valores normalizados, ademais de que pode darse o caso de que algúns dos valores que recollen sexan extraídos de fontes de diferentes países, co que o erro cometido na estimación vese incrementado.

No caso en que teñamos que estimar os factores de emisión enerxéticos de cada produto a partir de valores globais que as empresas nos poidan ofrecer, deberase solicitar os seguintes datos:

- Valores de consumo anuais de cada carburante ou combustible empregados nas distintas fases polas que pasa un produto para a súa fabricación (é un dato fácil de obter, xa que as empresas deben de recoller os seus gastos e consumos nun balance anual de contas).
- Valores de consumo de carburantes, no caso en que se produza un transporte dende o punto de extracción da materia prima ata o punto onde a mesma se procesa.
- Valores de produción anuais dos distintos materiais.

Unha vez colectados os valores anteriores, procédese a aplicación dos coeficientes de emisión enerxéticos que lles corresponden ao volume consumido por cada fonte enerxética, obtendo así uns valores anuais de enerxía incorporada nun produto.

O ideal é que os factores de emisión enerxéticos dos produtos sexan ofrecidos en valores referenciados a kWh/unidade de produto, para que sexa moito máis sinxela a introdución dos datos na ferramenta de cálculo e se produza de forma directa a obtención dos valores de enerxía incorporada. Por esta razón, se coñecemos a produción anual dun material e o consumo total que se produce nese mesmo período, podemos obter os valores estimados de enerxía incorporada por cada unidade de material producido.

Unha vez coñecidos todos os factores de emisión nas unidades correspondentes e trala análise da obra levada a cabo no punto anterior, aplícanse os factores de emisión enerxéticos ao volume total de material empregado na obra. Segundo esta metodoloxía, o cálculo que se propón quedaría aplicado do seguinte xeito:

$$F_{EI} = \frac{\sum (C \cdot Fe)}{P}$$

Ecuación 1 ⁽⁵⁾

Onde:

F_{EI} = factor de enerxía incorporada nun material dentro do ámbito de “berce a porta” (kWh / ud produto).

C = consumo anual da fonte enerxética que se emprega en cada proceso polo que atravesamos un produto na súa fabricación (ud combustible / ano).

F_e = factor de emisión enerxético asociado ás distintas fontes enerxéticas empregadas (kWh/ud combustible).

P = produción anual total do material en cuestión (ud produto).

⁵ Elaboración propia para aplicación na metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.

Medios de transporte

Trala avaliación do proxecto realizada na primeira fase, que comprende o proceso de estudo mediante o cal se coñece a distancia recorrida polos diferentes materiais e medios humanos requiridos, ata o punto onde terá lugar a obra, un dos requisitos que establece esta metodoloxía é que as empresas subministradoras aporten os valores de consumo das distintas tipoloxías de medios de transporte (camión, furgoneta, tren, avión,...) que se empreguen ao longo da mesma para o transporte, así como o tipo de carburantes que utilizan.

A enerxía incorporada asociada ao consumo de carburantes e as emisións de CO₂ que se producen, depende da tipoloxía do vehículo, do motor do que dispoñen, a carga que transporten e a distancia recorrida.

Na actualidade, é obrigatorio que os provedores de vehículos ofrezan os valores de consumo e emisións de toda a gama que está a venda, dentro da ficha técnica das características xerais dos diferentes modelos.

En caso de que as empresas distribuidoras non dispoñan destes datos, existen diferentes páxinas en internet que ofrecen os valores de consumo e emisións dos modelos tanto actuais en venta, coma de modelos descatalogados, expresados en valores de consumo de litros/100 Km.

A fonte oficial e a que se recomenda é a páxina web que ofrece o IDAE⁶, aínda que existen tamén outras páxinas nas que se mostran as fichas técnicas coas características das distintas tipoloxías de vehículos e de acceso gratuíto.

Aínda así, é posible que o modelo de vehículo que se estea a empregar non apareza nas bases de datos, por ser un modelo moi antigo, ou que simplemente os fabricantes non coñezan as súas emisións. Neste caso, considérase que os usuarios normais dos medios de transporte coñecen o consumo aproximado do seu vehículo, en función do tanque que posúan e do tempo que discorre entre carga e carga de carburantes, dependendo da distancia recorrida.

Dependendo das diferentes fontes enerxéticas utilizadas durante todo o ciclo de transporte, será precisa a aplicación duns coeficientes de emisión enerxéticos por cada unha delas, para poder unificar os datos de consumo a un valor común co que se poida obter un cómputo global da enerxía incorporada. En apartados seguintes, definiranse ditos factores de emisión.

Os valores de enerxía incorporada no transporte asociados a unha vivenda e son expresados nesta metodoloxía tanto de xeito global como de xeito porcentual

⁶ <http://coches.idae.es/portal/BaseDatos/MarcaModelo.aspx>

correspondente a un m² construído de edificación, xa que estas unidades de expresión do dato son máis normalizadas. Para obter os datos expresados da segunda das formas, só é preciso realizar a división entre a enerxía incorporada total e os m² construídos totais dos que consta o edificio.

Maquinaria e/ou ferramentas

Ao igual que nos apartados anteriores, para obter a enerxía incorporada nunha vivenda correspondente ao consumo de fontes enerxéticas, é preciso o coñecemento da diferente maquinaria e ferramentas que se empregarán durante todos os procesos. Para elo, é necesario coñecer o tipo de carburantes ou fontes enerxéticas que utilizan as máquinas que serven de apoio tanto na etapa de fabricación, como na etapa construtiva, así como o tipo de ferramentas que se empregarán para facilitar o labor dos operarios.

O cálculo da enerxía incorporada asociada ao emprego de medios mecánicos realízase a partir da fonte enerxética que estes utilicen. Os factores de emisión están asociados a ela. Ademais, para poder realizar a estimación do consumo enerxético que se produce nesta fase, é necesario coñecer o consumo que presenta dita maquinaria, preferiblemente expresado en litros/hora de carburante ou kWh/hora de electricidade.

Os factores de emisión enerxética na fase de transporte e os factores de emisión da maquinaria son os mesmos, xa que ditos factores están regulados e estandarizados para cada tipo de combustible e/ou carburante empregado.

8.1.3. Seguimento da construción

Nas fases precedentes ao apartado que corresponde ao seguimento da construción, recóllense os valores e os distintos factores de emisión enerxética que son requiridos para poder proceder á realización do cálculo da enerxía incorporada nunha vivenda.

É neste momento no que se obteñen os datos de consumo reais que se producen na construción dunha edificación, en canto a materiais, ferramenta e maquinaria utilizados, co fin de obter os resultados de enerxía incorporada asociada a esta fase dentro do ciclo de vida total. Ademais, é tamén neste proceso onde se calcula a enerxía incorporada vinculada co transporte dos materiais e medios requiridos á obra.



Figura 8.4: Etapa de seguimento da construción da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada⁷.

Na proposta de cálculo que se está a suxerir, indícase que para levar a cabo o rexistro dos datos de consumo que teñen lugar na instalación dos distintos materiais, é preciso realizar a contabilidade dentro da propia obra, coma se fose un punto máis dentro dos traballos diarios da mesma.

É requisito facer unha diferenciación entre o consumo de materiais e o consumo de fontes enerxéticas. Coñecer as cantidades de cada material que se empregan, apuntando os datos respectando as partidas marcadas dentro do presuposto da obra e levar a contabilidade do tempo que está en funcionamento a maquinaria e ferramenta utilizadas, son puntos clave á hora de contabilizar os datos “in situ”.

Ademais, como dentro de cada partida se introducirán na ferramenta de cálculo os valores por cada proceso ou actividade levada a cabo dentro do proceso construtivo, será tamén posible coñecer os datos diferenciados e específicos para cada material, obtendo así, tanto a enerxía incorporada nun material en concreto, como na totalidade da edificación en si.

Este procedemento pode parecer algo pesado e non todos os técnicos ou persoal responsable en obra están dispostos a levalo a cabo, a menos que unha nova normativa lexisle sobre tal fin. Por este motivo e enfocando o cálculo dende a perspectiva de que o valor de enerxía incorporada nunha edificación se coñeza de antemán e sirva como un factor máis á hora de escoller a tipoloxía dunha vivenda, aconséllase que nun primeiro momento, para realizar a estimación, se leve a cabo a análise a partir dos datos que as distintas empresas ofrecen nos seus presupostos. Nestes debe aparecer reflectida a cantidade de cada material que será necesaria instalar en obra, os medios humanos que son requiridos e o período de tempo que son empregados os diferentes medios mecánicos de apoio, para poder coñecer os prezos descompostos aplicables.

⁷ Elaboración propia mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

Normalmente, cada empresa dispón dos seus propios datos, xa que non todas teñen os mesmos medios tanto humanos coma mecánicos, e os pertinentes rendementos e tempos de traballo varían. Tamén é probable, que logo da experiencia acumulada durante o período de tempo que leven no sector, e en base a tipoloxía construtiva da edificación a realizar, coñezan de antemán os consumos e tempos que serán necesarios investir para a finalización da obra, supoñendo este feito, un punto importante para facilitar a tarefa do cálculo da enerxía incorporada.

Se por un casual, despois de consultar tódalas fontes posibles non se puidese concretar un valor para o consumo da maquinaria, sempre será posible consultar unha base de datos de produtos da construción que recolla estes valores, como por exemplo o banco BEDEC, que a maiores de ofrecer datos para os materiais, tamén pon a disposición dos usuarios do seu programa datos de enerxía incorporada e de emisións de CO₂ da diferente maquinaria e ferramentas que se empregan nunha obra. Esta solución presenta os inconvenientes xa mencionados, como que os factores de emisión empregados poden variar.

Como son suposicións a priori, realizadas como arranxo ao proxecto, e que serven como un indicador máis á hora de escoller diferentes tipoloxías de materiais para unha construción, farase unha estimación dos medios mecánicos e dos medios de transporte que se poidan utilizar, conseguindo un valor de enerxía incorporada provisional, a revisar cando conclúa o ciclo de vida da edificación.

No caso do cálculo da enerxía incorporada asociada ao transporte á obra, débense ter en conta tanto o traslado de materiais e maquinaria, coma o achegamento dos medios humanos e mecánicos indispensables para levar a cabo a construción da edificación.

Cando se trate de transporte de materiais e maquinaria, só é necesario contabilizar as viaxes de ida dende a fábrica ou almacén ata o punto de instalación, xa que non en todas as ocasións se produce un desprazamento exclusivo ao lugar da obra, é dicir, que nunha mesma viaxe, o subministrador pode aportar materiais ou produtos a diferentes zonas de traballo, quedando así o transporte dividido entre ámbolos puntos. Isto non ocorre do mesmo xeito cando os elementos transportados son medios humanos, xa que estes realizan a viaxe exclusivamente dende o punto de saída ata o lugar da obra en concreto e viceversa, quedando perfectamente definido o recorrido realizado que está asociado a unha edificación.

Con estes datos, cos factores de emisión enerxética asociados a cada fonte enerxética e a cada material, cos valores de consumo que teñen lugar no proceso de transporte a obra e mediante o emprego da ferramenta de cálculo que se ofrece, pódense conseguir os valores de enerxía incorporada vinculados á fase construtiva.

A expresión matemática desenvolvida expresamente para esta fase dentro da metodoloxía, queda denominada como segue:

$$EI_{CONST} = \sum (C_f \cdot H \cdot F_e) + \sum (C_m \cdot F_{EI}) + \frac{\sum (D \cdot C_t \cdot F_e)}{100}$$

Ecuación 2⁽⁸⁾

Sendo:

EI_{CONST} = enerxía incorporada asociada ao proceso construtivo dunha edificación, incluíndo o transporte dos materiais e medios precisos (kWh).

C_f = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso de construción da vivenda (ud combustible / hora).

F_e = factor de emisión asociado as distintas fontes enerxéticas utilizadas (kWh / ud combustible)

H = período de tempo que están funcionando as distintas ferramentas e máquinas (horas).

C_m = consumo de materiais que se produce durante toda a obra (ud produto).

F_{EI} = factor de enerxía incorporada nun material dentro do ámbito de “berce a porta” (kWh / ud produto).

D = distancia recorrida dende o punto de orixe ata o punto de instalación (Km).

C_t = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso de transporte (ud combustibles / 100 Km).

A ferramenta de cálculo ofrece os resultados de enerxía incorporada tanto en valores globais nos que se inclúe a totalidade de kWh requiridos neste proceso, como os valores por unidade de edificación, neste caso m² construídos.

Tamén é posible obter os datos individualizados de tódolos factores de emisión enerxética asociados aos materiais empregados, incluíndo a totalidade das fases do ciclo de vida dos mesmos. Partindo dos factores de emisión referidos ao período de “berce a porta”, vanse engadindo aos mesmos os valores vinculados ao resto das fases construtivas, expresados tamén en valores globais ou por unidade de produto.

⁸ Elaboración propia para aplicación na metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.

8.1.4. Análise da vida útil

Como xa se ven analizando dende apartados anteriores dentro deste mesmo estudo, a enerxía incorporada nunha vivenda debe comprender todas e cada unha das etapas que abarque o seu ciclo de vida completo.

Os resultado obtidos dos materiais e produtos que se empreguen na execución dunha edificación en concreto, tamén deben estar referidos a tódalas fases polas que ditos elementos pasan ao longo da súa vida útil. Para elo, é preciso realizar un estudo previo dos procesos que durante a etapa de uso das edificacións, poidan ter lugar en canto a reparacións ou substitucións se trata.

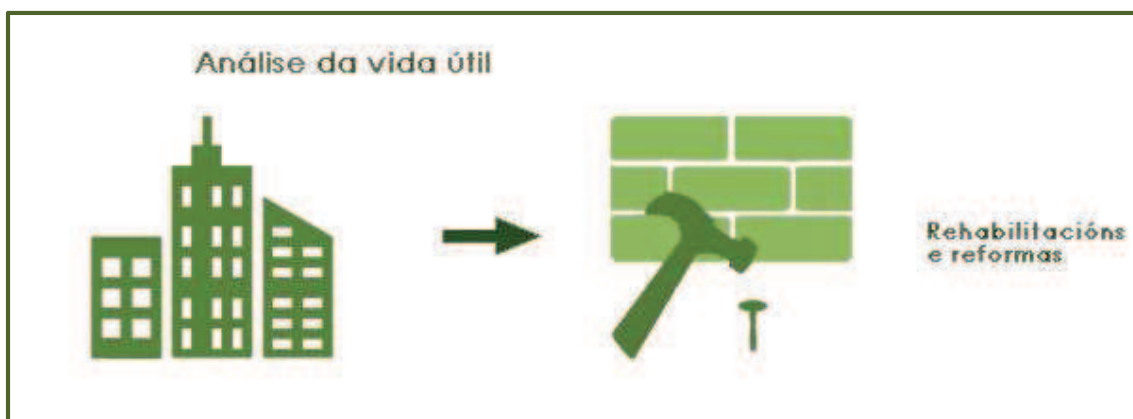


Figura 8.5: Etapa de análise da vida útil da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada⁹.

Dentro do conxunto construtivo, existen algúns elementos que constan dunha vida útil inferior á total presentada polo edificio. Por exemplo, as canalizacións da instalación de saneamento ofrecen un período de utilización moi inferior ao que está previsto que unha vivenda soporte, dado que estas se calculan como mínimo para 50 anos. Dentro do estudo da enerxía incorporada débense recoller estes cambios, xa que supoñerán levar a cabo un proceso construtivo que tamén levará consigo, un consumo de novos materiais, un consumo de fontes enerxéticas para a retirada dos elementos antigos e a instalación dos novos, e tamén se producirá unha xeración de residuos, que deben ser transportados aos puntos de tratamento para a súa reciclaxe.

O procedemento a seguir para estimar a enerxía incorporada asociada a esta fase construtiva, é semellante á que se emprega para o seguimento da construción, xa que as técnicas de recollida de datos de consumo e establecemento das cantidades de material que son requiridas son exactamente as mesmas.

⁹ Elaboración propia mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

A ferramenta de cálculo ofrece un apartado específico para o cálculo da enerxía incorporada nesta fase do ciclo de vida dun edificio, que inclúe ademais, un apartado para a inclusión do transporte que se produce dende o emprazamento da edificación ata o punto onde os materiais serán tratados, e outro para a estimación do cálculo da enerxía incorporada debida á reciclaxe dos mesmos.

A colleita dos datos necesarios para realizar o cálculo consiste en solicitar ás empresas de reciclaxe, os consumos dos vehículos que transportan os residuos ata a planta de tratamento, as distancias recorridas, e tamén os consumos de fontes enerxéticas que se producen durante a fase de reciclado, valorización ou destrución.

Os novos produtos que xorden do proceso axeitado de tratamento, terán un novo factor de enerxía incorporado, que normalmente é menor que o correspondente aos produtos de primeira elaboración, como por exemplo no caso dos metais, resultando os produtos reciclados máis aconsellables en termos de enerxía incorporada e tamén como solución para darlle un novo uso aos residuos e evitar que estes queden depositados en lugares inadecuados.

A fórmula de cálculo aplicable á fase correspondente aos procesos de rehabilitación ou reforma, e que é exclusiva desta metodoloxía, queda expresada a continuación:

$$EI_{RE} = \sum (C_f \cdot H \cdot F_e) + \sum (C_m \cdot F_{EI}) + \frac{\sum (D \cdot Ct \cdot F_e)}{100} + \sum (C_r \cdot H \cdot F_e)$$

Ecuación 3⁽¹⁰⁾

Sendo:

EI_{RE} = enerxía incorporada asociada ao proceso de reforma ou rehabilitación dunha edificación, incluíndo o transporte dos materiais e medios precisos ao punto de tratamento e a reciclaxe dos mesmos (kWh).

C_f = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso tanto de retirada dos materiais instalados, como na colocación dos novos (ud combustible / hora).

F_e = factor de emisión asociado as distintas fontes enerxéticas utilizadas (kWh / ud combustible)

H = período de tempo que están funcionando as distintas ferramentas e máquinas (horas).

C_m = consumo de materiais que se produce durante o proceso de reforma (ud produto).

F_{EI} = factor de enerxía incorporada nun material dentro do ámbito de “berce a porta” (kWh / ud produto).

D = distancia recorrida dende o punto de orixe ata o punto de instalación (Km).

¹⁰ Elaboración propia para aplicación na metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.

C_t = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso de transporte (ud combustibles / 100 Km).

C_r = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso de reciclaxe (ud combustible / hora).

8.1.5. Análise do reciclado

Para finalizar e continuando co estudo de tódalas fases polas que unha edificación pasa ao longo do seu ciclo de vida, o derradeiro proceso que debemos analizar é a reciclaxe de tódolos materiais que compoñen a obra no momento da súa demolición.

Para elo debemos actuar exactamente igual que no apartado anterior, xa que dentro deste xa se engloban as reciclaxes dos produtos que foi preciso reformar durante o período de uso da edificación.



Figura 8.6: Etapa de análise da reciclaxe da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada¹¹.

Incluír o traballo requirido para proceder á retirada dos elementos instalados, expresado en consumo de carburantes, combustibles e electricidade, contar co transporte que é debido realizar para desprazar os materiais á correspondente planta de tratamento, e contabilizar os consumos que se producen dentro do propio proceso de reciclado, son as consignas a seguir para obter os valores de enerxía incorporada do edificio na súa fase final.

A expresión matemática que define este procedemento e que foi desenvolvida para aplicación na metodoloxía de cálculo proposta neste proxecto, queda recollida como segue:

¹¹ Elaboración propia mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

$$EI_{RECI} = \sum (C_f \cdot H \cdot F_e) + \frac{\sum (D \cdot C_t \cdot F_e)}{100} + \sum (C_r \cdot H \cdot F_e)$$

Ecuación 4 ⁽¹²⁾

Onde:

EI_{RECI} = enerxía incorporada asociada ao proceso de reciclado dunha edificación, incluíndo o transporte dos materiais e medios precisos ao punto de tratamento (kWh).

C_f = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso de retirada dos materiais instalados (ud combustible / hora).

F_e = factor de emisión asociado as distintas fontes enerxéticas utilizadas (kWh / ud combustible)

H = período de tempo que están funcionando as distintas ferramentas e máquinas (horas).

D = distancia recorrida dende o emprazamento do edificio ata o punto de tratamento (Km).

C_t = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso de transporte (ud combustibles / 100 Km).

C_r = consumo de fontes enerxéticas que se produce durante o proceso de reciclaxe (ud combustible / hora).

En conclusión, a estimación da enerxía incorporada asociada a un edificio consiste en analizar todas e cada unha das fases polas que este atravesará, contabilizando o consumo que se produce de todas as fontes enerxéticas posibles, e expresando os mesmos nun valor común (kWh), para poder facer a cuantificación final.

A obtención dos valores finais de enerxía incorporada en kWh de enerxía final establécese levando a cabo a suma dos resultados parciais obtidos en cada fase do proceso, e a través da seguinte fórmula:

$$EI_{TOTAL} = EI_{CONST} + EI_{RE} + EI_{RECI}$$

Ecuación 5 ⁽¹²⁾

¹² Elaboración propia para aplicación na metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.

Sendo:

EI_{TOTAL} = enerxía total incorporada nun edificio expresada en termos de kWh.

EI_{CONST} = enerxía incorporada asociada ao proceso construtivo dunha edificación, incluíndo o transporte dos materiais e medios precisos (kWh).

EI_{RE} = enerxía incorporada asociada ao proceso de reforma ou rehabilitación dunha edificación, incluíndo o transporte dos materiais e medios precisos ao punto de tratamento e a reciclaxe dos mesmos (kWh).

EI_{RECI} = enerxía incorporada asociada ao proceso de reciclado dunha edificación, incluíndo o transporte dos materiais e medios precisos ao punto de tratamento (kWh).

Para a correcta aplicación da ecuación é preciso que as empresas que interveñen nalgún proceso ao longo da vida útil dos diferentes elementos, poidan ofrecer datos de calidade referidos aos distintos consumos que se producen. Por exemplo, a empresa encargada da extracción das materias primas, debería poder subministrar valores do consumo de combustible que ocorren no seu ámbito de traballo, a empresa que fabrica os materiais debería levar a contabilidade de consumo da súa maquinaria e elementos de procesamento, as distribuidoras de produtos deben de rexistrar o consumo dos seus vehículos...

Se os datos que podemos obter están ven estruturados e atenden aos distintos procesos polos que concorre un mesmo produto, é posible a realización dun estudo pormenorizado e case exacto da enerxía incorporada do produto. Pero na maioría dos casos, témonos que conformar con datos globais que nos obrigan a realizar cálculos con “números gordos”.

O valor final de enerxía incorporada nunha vivenda é un factor que representa en que medida un edificio afecta ao medio que o rodea en termos de consumo de recursos naturais e fontes enerxéticas, sendo de axuda para concienciar tanto a proxectistas como a usuarios, do consumo que supón a construción dun edificio.

A enerxía incorporada nunha edificación é un valor fixo, que só depende dos materiais e procesos requiridos para a súa construción. Queda adherido ao edificio unha vez finalizado este e só se pode reducir analizando os consumos e materiais empregados dende a fase de proxecto.

Nada ten que ver cos valores aportados nas certificacións enerxéticas, xa que o consumo expresado en kWh reflectido nestas análises, está referido ao consumo de fontes enerxéticas no uso diario do edificio, debidas ás instalacións integradas no mesmo. A este segundo valor podémolo definir como “Enerxía Operacional”, sendo a suma de ámbalas dúas, o factor denominado pegada ecolóxica enerxética das edificacións.

8.2. FACTORES DE EMISIÓN ENERXÉTICOS (F_E)

A obtención dun valor unificado de enerxía incorporada require da aplicación duns factores de emisión axeitados para cada tipoloxía de fonte enerxética empregada, xa que para facer o cómputo global, é necesario realizar a suma das mesmas utilizadas nos distintos procesos.

Para o cálculo da enerxía incorporada, establécense uns factores de emisións correspondentes ao consumo de ditas fontes enerxéticas. Nesta metodoloxía diferéncianse dous tipos de factores, os correspondentes aos carburantes e combustibles e os asociados á electricidade.

Faise esta distinción debido ás unidades de medida de cada tipoloxía. Dependendo de cada fonte enerxética empregada, as unidades de medida varían, pero normalmente os carburantes como a gasolina ou o gasóleo mídense en litros, e os combustibles como o carbón ou a biomasa mídense en toneladas.

Para poder levar a cabo o cómputo total é preciso realizar unha conversión de unidades para que todos os elementos estean expresados en KWh, unidade que representa a enerxía incorporada nun edificio. Por esta razón, divídense os coeficientes de emisión enerxéticos en dous grupos, os factores enerxéticos e os factores eléctricos.

8.2.1. Factores enerxéticos

Como se acaba de comentar en parágrafos anteriores, os carburantes e combustibles que son empregados pola maquinaria, ferramentas e vehículos durante a vida útil dunha edificación, requiren duns valores de normalización que permitan unificar os resultados finais de enerxía incorporada, denominados factores enerxéticos.

No caso dos carburantes e combustibles, estes factores están regulados e existen diversos organismos que publican cada certo tempo os valores, adaptándoos as novas situacións de obtención e produción das fontes enerxéticas.

Distintos organismos a nivel nacional e autonómico, como o Instituto Enerxético de Galicia (INEGA), permiten acceso público a estes datos. Porén e a pesar de que os valores de dito organismo serían os máis axeitados para as fontes enerxéticas consumidas en Galicia, os últimos datos publicados son do ano 2007.

Polo motivo anterior, para esta metodoloxía empréganse os valores de última publicación que ofrece o Instituto para a Diversificación e Aforro de Enerxía (IDAE), que aínda non sendo do ano inmediatamente anterior, son os máis recentes.

No desenvolvemento desta metodoloxía de análise e para que resulte máis sinxelo e directo o cálculo, os valores ofrecidos polo organismo anteriormente citado, sofren unhas conversións numéricas, para que as unidades se adapten aos valores que nos ofrecen as distintas empresas e se obteña de xeito directo o valor de enerxía incorporada asociado a cada proceso.

Na seguinte táboa recóllense os factores de emisión xa modificados cos seus correspondentes valores de cambio, para que a aplicación sexa lineal e se obteña o valor final de KWh por proceso:

FONTA ENERXÉTICA	UD	KWh/ud
Gasolina	Litros	22,31
Gasóleo A-B	Litros	24,81
Gasóleo C	Litros	26,83
Biodiésel	Litros	25,61
Gas natural	Nm ³	30,76
Bioetanol	Litros	22,60
GLP	Litros	15,58
Queroseno	Litros	24,15
Hulla	Toneladas	14.787,31
Lignito negro	Toneladas	9.465,76
Carbón para coque	Toneladas	20.575,86
Biomasa agrícola	Toneladas	9.788,17
Biomasa industria forestal	Toneladas	11.391,11
Coque de petróleo	Toneladas	28.761,63
Gas de coquerías	Toneladas	27.625,00
Fuelóleo	Litros	25,80
Butano	Litros	16,45
Propano	Litros	15,72
Gas de refinería	Toneladas	34.597,06

Figura 8.7: Factores de emisión de enerxía¹³.

Cos datos da táboa anterior e aplicándoos aos valores de consumo das distintas fontes enerxéticas que se producen ao longo das diferentes fases que atravesamos un edificio, podemos obter o consumo total de enerxía que se produce nas distintas fases polas que concorre o elemento de estudo.

¹³ Elaboración propia a partir dos datos ofrecidos no documento “Factores de conversión Energía final - Energía primaria y factores de emisión de CO₂ – 2011” do IDAE.

8.2.2. Factores eléctricos

Por outra banda, os sistemas e medios mecánicos que se utilizan para a fabricación, transporte e instalación dos distintos materiais poden empregar como fonte enerxética a electricidade. Como xa se definiu previamente, a enerxía incorporada está expresada para esta metodoloxía en unidades de enerxía final, para que as comparativas sexan reais, claras e directas.

Isto é, que no consumo eléctrico que se está a definir, téñense en conta tanto as perdas que se producen dende o punto de produción da electricidade ata os puntos de consumo, como a diferenza correspondente ao intercambio de saldos internacional.

Debido a este parámetro, os kWh aos que se asocia a enerxía incorporada son kWh en punto de consumo, polo que un kWh consumido equivale a un kWh de enerxía incorporada, a conversión neste caso é directa, non é necesaria a aplicación de ningún factor de conversión.

A hora de realizar o estudo da enerxía incorporada nun edificio, faise necesario o emprego de factores de emisión asociados a cada fonte enerxética dispoñible. Isto implica que en cada ámbito existirán uns factores regulados, é dicir, que non é nada aconsellable a utilización de factores que proveñan de zonas xeográficas diferentes da que se recolle no cálculo, xa que cada país dispón dos seus factores específicos.

Do mesmo xeito, tampouco convén empregar ferramentas desenvolvidas noutras rexións e que non presenten adaptación xeográfica, xa que os factores de emisión son o punto máis importante á hora de calcular a enerxía incorporada dos edificios.

Non é posible que o mesmo edificio situado en zonas diferentes, aínda empregando os mesmos materiais, presente unha enerxía incorporada semellante, xa que os rendementos tanto dos combustibles e carburantes non serán os mesmos e as formas de construír tamén varían.

En apartados posteriores, farase unha comparativa entre vivendas iguais localizadas en diferentes países, para demostrar que para levar a cabo o cálculo da enerxía incorporada non se deben empregar datos foráneos, senón que canto máis locais sexan os valores contemplado, máis exacta será a estimación.

8.3. METODOLOXÍA DE CÁLCULO DO CARBONO INCORPORADO NUNHA VIVENDA

Ao igual que a metodoloxía de cálculo que se está a propoñer con este proxecto presenta unha guía de traballo para obter os valores da enerxía incorporada nunha edificación, tamén ofrece a posibilidade de determinar ca mesma os valores do carbono incorporado, tanto nas edificacións, como nos propios materiais empregados, xa que estes dous indicadores ambientais son parellos e están conectados entre eles.

Como xa foi definido no capítulo correspondente, por carbono incorporado enténdese a suma de tódalas emisións de CO₂ que se producen durante todo o ciclo de vida dun produto, expresadas en termos de Kg de CO₂. Isto inclúe todas as emisións de dióxido de carbono que provocan a extracción das materias primas, o procesamento de ditas materias primas en produtos, o transporte dos produtos á obra, a instalación do material, o mantemento e a retirada dos mesmos ao finalizar a súa vida útil.

Con esta definición pódese comprobar que o proceso de análise do carbono incorporado presenta as mesmas características estruturais que o método de cálculo da enerxía incorporada, xa que comprenden as mesmas fases de cálculo.

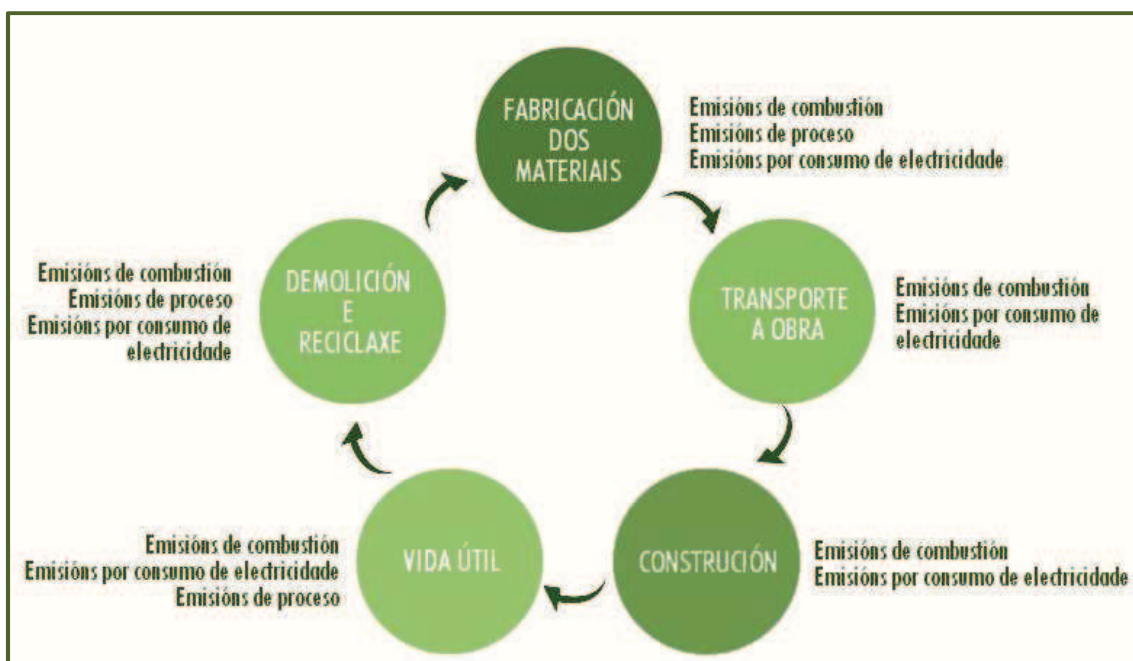


Figura 8.8: Ciclo do carbono incorporado¹⁴.

As emisións de CO₂ que teñen lugar durante o ciclo de vida dunha edificación son producidas polo emprego de fontes enerxéticas, como ocorre por exemplo nos

¹⁴ Elaboración propia mediante a aplicación gráfica en liña Piktochart.

procesos de combustión tanto dos vehículos como da maquinaria utilizada, así como polo emprego de electricidade. No primeiro dos exemplos a emanación de CO₂ a atmosfera ten lugar de xeito directo, xa que a propia queima dos combustibles e carburantes produce fumes. No segundo dos casos, a emisión non se presenta de forma tan directa, xa que as emisións debidas ao emprego da electricidade prodúcese pola xeración da mesma, non polo emprego directo en punto de consumo.

Para poder levar a cabo o cálculo do carbono incorporado é requisito imprescindible a colleita dos datos de consumo de ditas fontes enerxéticas, proceso que xa se realizou para a análise da enerxía incorporada.

Ademais, existe outro tipo de emisións de CO₂ que poden ter lugar nalgunha das distintas fases polas que un material concorre ao longo do seu ciclo de vida. Estas non son provocadas polo emprego dalgunha fonte enerxética, senón que son debidas aos procesos de transformación que sofren os produtos na súa fabricación.

Algúns materiais que posúen distintos carbonatos na súa composición (como por exemplo o cemento ou a cerámica), cando son sometidos a altas temperaturas para poder obter o produto final, padecen unha reacción química mediante a cal os distintos elementos que compoñen a estrutura do material se transforman en novas substancias emitindo ao aire partículas de CO₂.

Este proceso é coñecido como descarbonatación e o tipo de emisións que xorden da aplicación destes tratamentos coñécense como emisións de proceso.

Para poder levar a cabo a determinación do carbono incorporado nunha edificación, é preciso contabilizar os dous tipos de emisións, tanto as que son debidas ao emprego de fontes enerxéticas, denominadas emisións de combustión, como as emisións de proceso.

$$CI = CI_{\text{COMB}} + CI_{\text{PROC}}$$

Ecuación 6⁽¹⁵⁾

Sendo:

CI = carbono incorporado nunha edificación ao longo de todo o seu ciclo de vida (Kg de CO₂).

CI_{COMB} = carbono incorporado debido ás emisións de combustión ao longo de todo o período de vida (Kg de CO₂).

CI_{PROC} = carbono incorporado debido ás emisións de proceso que teñen lugar polo tratamento dos distintos materiais na súa fabricación (Kg de CO₂).

¹⁵ Elaboración propia desenvolvida para o cálculo do carbono incorporado dentro desta metodoloxía.

O CO₂ é un dos gases de efecto invernadoiro que están contemplados dentro do protocolo de Kioto, motivo polo cal, é un indicador ambiental que goza dunha gran cantidade de metodoloxías e formas de cálculo, ademais de posuír un número importante de normativa de aplicación para a medición do mesmo, tanto a nivel internacional, como europeo e nacional.

Para a metodoloxía en concreto que se está a propoñer neste traballo, emprégase unha forma de estimación das emisións baseada no cálculo e na medición dentro das distintas organizacións que están implicadas nalgún dos procesos do ciclo de vida do edificio.

Para elo, e segundo se define na Directiva 2007/589/CE do Parlamento Europeo, pola que se establecen directrices para o seguimento e notificación das emisións de gases de efecto invernadoiro, para poder levar a cabo a cuantificación das emisións de CO₂ que son producidas, estas teñen que ser determinadas a partir dos datos da actividade obtidos mediante medición directa ou empregando outros parámetros resultantes de análises de laboratorio dos distintos carburantes e combustibles (factores tipo).

8.3.1. Emisións de combustión

Para o cálculo das emisións debidas á combustión a partir deste método, téñense en conta os valores de consumo das distintas fontes enerxéticas, xa que é necesaria a súa recolleita para estimar os valores de enerxía incorporada. A continuación, empréganse uns factores de emisión de CO₂ asignados a cada tipoloxía e que están regulados e normalizados no noso país.

O traballo realizado anteriormente para estimar os resultados de enerxía incorporada, sérvenos agora para calcular o carbono incorporado, aproveitando as horas de esforzo realizadas para a obtención de dous importantes indicadores ambientais.

Como a estrutura establecida para o cálculo da enerxía e do carbono incorporado son iguais, neste capítulo non se vai a reincidir nos procesos de recollida de datos, consumos,... o único que varían son as ecuacións a aplicar e os factores de emisión, que agora non son enerxéticos, senón que expresan os Kg de CO₂ liberados.

A normativa vixente establece unha fórmula específica para o cálculo das emisións de combustión, que se basea na multiplicación do contido de enerxía de cada combustible empregado por uns factores tipo:

$$CI_{COMB} = D \cdot F_{EM} \cdot F_{OX}$$

Ecuación 7⁽¹⁶⁾

Onde:

CI_{COMB} = carbono incorporado debido ás emisións de combustión ao longo de todo o período de vida (Kg de CO₂).

D = datos de consumo das distintas actividades que teñen lugar durante o ciclo de vida completo (ud combustible).

F_{EM} = factor de emisión (Kg de CO₂/ud combustible).

F_{OX} = factor de oxidación.

Desenvolvida especificamente para esta metodoloxía a partir da fórmula anterior, e partindo dos datos de enerxía incorporada, establécese unha ecuación de cálculo para as emisións de combustión que queda recollida a continuación:

$$CI_{COMB} = EI_{TOTAL} \cdot F_{CO2}$$

Ecuación 8⁽¹⁷⁾

Sendo:

CI_{COMB} = carbono incorporado debido ás emisións de combustión ao longo de todo o período de vida (Kg de CO₂).

EI_{TOTAL} = enerxía total incorporada nun edificio expresada en termos de kWh.

F_{CO2} = factor que comprende tanto ao factor de emisión como ao factor de oxidación (Kg de CO₂/kWh).

A diferenza que existe entre as formulacións presentes na normativa vixente e a que se propón desde esta metodoloxía, radica en que como xa é necesario estimar con anterioridade a enerxía incorporada a partir dos datos recollidos do consumo de fontes enerxéticas, para realizar o cálculo das emisións por combustión partimos directamente dos resultados de dita enerxía incorporada, á que se lle aplican uns coeficientes de emisión definidos para tal fin.

Para elo, foi precisa a adaptación dos factores de emisión ofrecidos polos organismos de consulta, a valores que expresan os Kg de CO₂ por cada kWh consumido, para maior facilidade á hora de aplicar a metodoloxía.

¹⁶ Cálculo das emisións de combustión. Directiva 2007/589/CE do Parlamento Europeo, pola que se establecen directrices para o seguimento e notificación das emisións de gases de efecto invernadoiro.

¹⁷ Elaboración propia para establecemento das emisións de combustión.

FONTE ENERXÉTICA	UD	Kg de CO ₂ /kWh
Gasolina	Litros	0,100
Gasóleo A-B	Litros	0,105
Gasóleo C	Litros	0,104
Biodiésel	Litros	neutro
Gas natural	Nm ³	0,084
Bioetanol	Litros	neutro
GLP	Litros	0,096
Queroseno	Litros	0,102
Hulla	Toneladas	0,142
Lignito negro	Toneladas	0,140
Carbón para coque	Toneladas	0,147
Biomasa agrícola	Toneladas	neutro
Biomasa industria forestal	Toneladas	neutro
Coque de petróleo	Toneladas	0,111
Gas de coquerías	Toneladas	0,061
Fuelóleo	Litros	0,109
Butano	Litros	0,099
Propano	Litros	0,097
Gas de refinería	Toneladas	0,078

Figura 8.9: Factores de emisión de CO₂ por cada fonte enerxética¹⁸.

Estes coeficientes veñen definidos en distintas normativas e publicacións, tanto a nivel internacional como nacional e autonómico. Para esta metodoloxía escolléronse os valores publicados polo IDAE por ser os de máis recente publicación e tamén para que os factores de emisión proveñan, en todo o método de cálculo, da mesma fonte, respectando ante todo a rigorosidade á hora de escoller uns factores de emisión, xa que son estes os que marcan a diferenza de resultados.

Os factores de emisión que o IDAE ofrece nas súas publicacións, están expresados en unidades de toneladas de petróleo equivalente (tep). Para facilidade de cálculo e adaptación ás unidades que se empregan nesta metodoloxía, fixéronse unhas conversión das unidades a kWh, dando como resultado os coeficientes de emisión que se recollen na táboa 8.2.

Porén, os valores dos factores tanto para a enerxía incorporada como para o carbono incorporado, non son fixos, xa que estes poden variar en sucesivas publicacións oficiais. Se isto ocorre, os factores deben de ser substituídos polos novos publicados, adaptándose a metodoloxía aos novos requisitos do mercado enerxético.

¹⁸ Elaboración propia para esta metodoloxía a partir dos datos ofrecidos no documento “Factores de conversión Energía final -Energía primaria y factores de emisión de CO₂ – 2011” do IDAE.

8.3.2. Emisións debidas á xeración de electricidade

Dentro das emisións de combustión diferéncianse as que son debidas á combustión directa dalgunha fonte enerxética ou as que se producen na produción de electricidade. Das primeiras podemos coñecer facilmente os factores de emisión asignados a cada unha delas, pero non ocorre o mesmo cando falamos do factor de emisión de dióxido de carbono da electricidade.

A produción eléctrica en España comprende distintas tipoloxías de xeración e dependendo das que sexan as predominantes, as emisións de CO₂ son distintas. Tipoloxías baseadas na queima dun produto, como as centrais térmicas de carbón, son causantes dun gran vertido de substancias a atmosfera, entre as cales se atopa o CO₂. Pola contra, fontes de enerxías renovables, como poden ser a eólica, a hidráulica ou a solar, non producen ningún tipo de contaminante no proceso de xeración eléctrica.

Para poder determinar o factor de emisión de dióxido de carbono asociado á produción de electricidade, é preciso analizar a mestura de tecnoloxías que se empregan no noso territorio para tal fin. O organismo oficial que recolle e analiza os datos referentes á electricidade é a Rede Eléctrica de España, polo que esta metodoloxía emprega os datos procedentes de dita institución.

A análise da produción de electricidade é unha tarefa continua, xa que as diferentes formas de xeración que compoñen o conxunto total en España, está constituído de moitas fontes distintas, entre as que se atopan as renovables.

O clima e a meteoroloxía que se presenten en cada ano nun lugar varía, porque a pluviosidade pode ser maior ou menor, ao igual que os días soleados e a intensidade do vento. As enerxías renovables dependen destes factores para proceder á xeración eléctrica, co que non é unha constante que se poida regular mecanicamente. O peso que o grupo de enerxías limpas ten dentro da mestura eléctrica total, inflúe en gran medida no valor das emisións de dióxido de carbono, xa que dependendo da porcentaxe que aporten, estas serán maiores ou menores.

Como a xeración eléctrica é un valor variable diariamente, incluso cambia cada minuto, non se pode definir un dato único e exacto que sexa de aplicación para o cálculo. Por esta razón, é aconsellable escoller un período concreto para levar a cabo a estimación do factor de emisión, co fin de concretar o volume de emisións que se produce no mesmo.

Para definir este período existen dúas modalidades para proceder: establecer un período longo de tempo (aproximadamente 10 anos) e facer a media de tódolos factores de emisión de CO₂ que se produciron en cada ano englobado no período

marcado, ou escoller simplemente o factor de emisións correspondente ao ano natural inmediatamente anterior ao de análise.

A primeira das solucións aparentemente é máis sinxela, xa que presenta a vantaxe de non ter que variar cada ano os factores de emisión. Pola contra, existe o inconveniente de que se asume que en cada decenio a climatoloxía acada unhas características similares, cousa que nestes derradeiros anos non está a ocorrer, xa que tivemos anos punteiros de grandes secas e outros con grandes temporais e choivas. Isto fai que a análise de dous decenios consecutivos sexa moi variable.

Por este motivo, nesta metodoloxía establécese como período de análise o ano inmediatamente anterior ao ano correspondente á realización da análise do carbono incorporado, xa que se pode dispoñer dos datos completos e revisados, conseguindo así, cálculos máis definidos e axustados á realidade. Cabe destacar que o valor do factor de emisión asociado á xeración eléctrica ten que ser revisado e introducido na metodoloxía de cálculo anualmente, xa que como xa se ven comentando, a produción eléctrica depende da meteoroloxía.

A continuación, vaise amosar a análise levada a cabo especificamente para este método de cálculo, mediante a cal se obtivo o valor correspondente ás emisións de CO₂ da mestura eléctrica do noso territorio.

O primeiro paso que se fixo para poder estipular o valor de emisións asociado á electricidade, foi a busca dos datos de produción eléctrica que tiveron lugar na nosa comunidade o ano anterior. Para elo, recorreuse a organismos oficiais, que no noso caso é o Instituto Enerxético de Galicia (INEGA). Este organismo publica anualmente un documento denominado Balance Enerxético de Galicia, no que se recollen os datos revisados e verificados, da produción eléctrica da comunidade galega, incluíndo os intercambios de saldos internacionais.

O ideal sería que o factor de emisión de dióxido de carbono estivese referido ao ámbito máis achegado á localización do edificio. No noso caso, dito factor debe facer referencia á comunidade galega. Existe un problema á hora de tratar cos datos ofrecidos dentro do ámbito de Galicia. Este xorde á hora da busca dos datos correspondentes ao ano anterior, 2013. Actualmente aínda non están dispoñibles na páxina web do INEGA, e non é posible o emprego dos datos asociados ao 2012 porque a climatoloxía dos dous anos difire en gran medida, sendo moito máis proveitoso para as enerxías renovables o ano 2013.

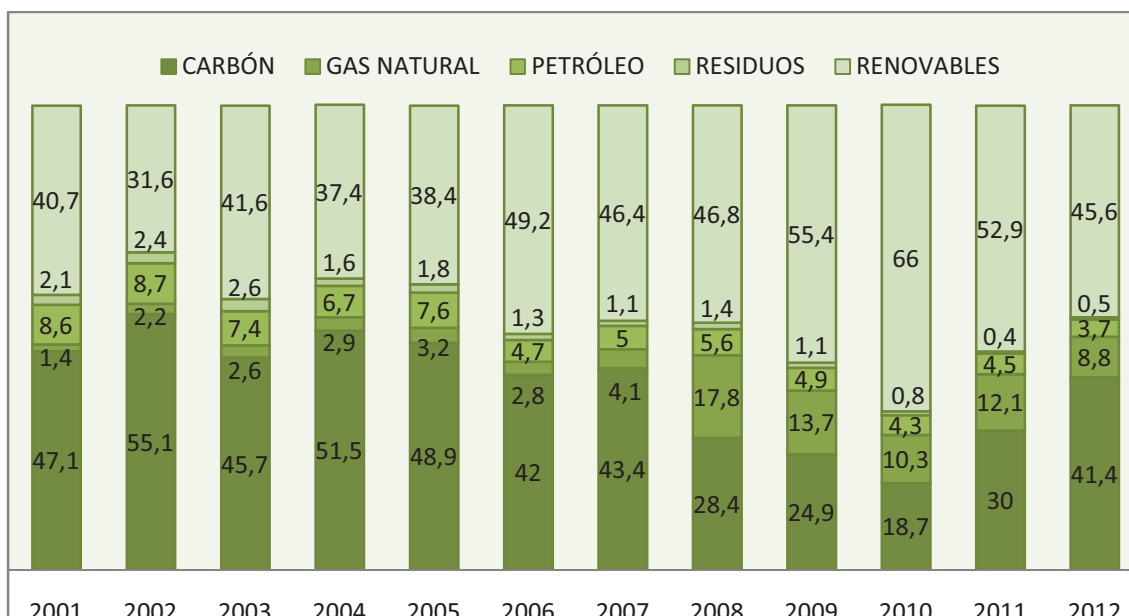


Figura 8.10: Estrutura da xeración eléctrica en Galicia (%)¹⁹

Como se pode comprobar na figura anterior, os datos referidos á produción por parte das enerxías renovables é moi cambiante, chegando en ocasións a abarcar ata o 60% da xeración anual e noutro período aportando preto do 30% do total. De aquí que os factores de emisión de CO₂ varíen con cada novo ano. Cabe destacar que os datos recollidos no gráfico anterior representan a enerxía real que se consume na nosa comunidade, tendo en conta tanto a propia xerada no territorio galego, como a importada doutras zonas e xerada con tecnoloxías distintas.

Non é nada aconsellable empregar datos de anos distintos ante o descoñecemento dos que se necesitan, xa que a diferenza de produción eléctrica presenta cambios moi substanciais dependendo da composición das tecnoloxías de xeración.

Facendo unha visualización do que ocorrería no caso de que en vez de exportar a electricidade que se xera, como sucede na actualidade, se consumise a enerxía que se produce, a mestura eléctrica sería moi diferente, xa que Galicia é unha das comunidades españolas que máis enerxía renovable produce. O problema radica en que a electricidade total que se produce na zona non é suficiente para abastecer as necesidades de consumo que se presentan. O esquema de xeración eléctrico exclusivo de Galicia, queda recollido na seguinte figura:

¹⁹ Elaboración propia a partir dos datos ofrecidos polo documento “Balance enerxético de Galicia 2012”.

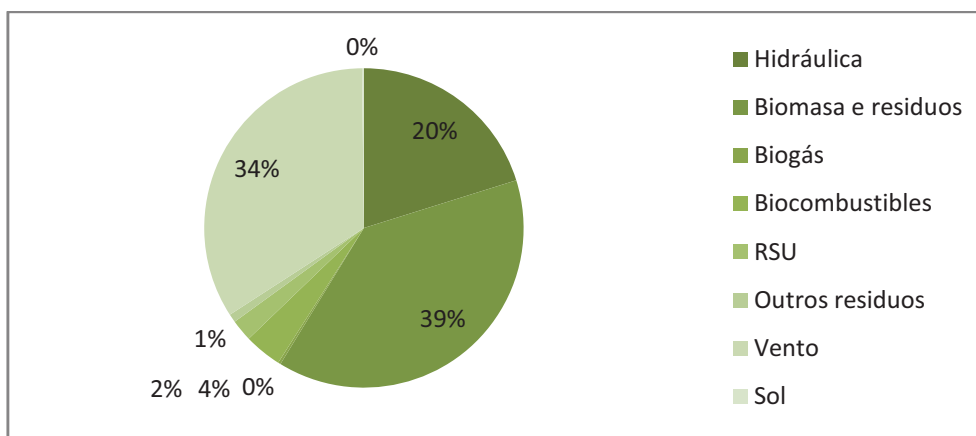


Figura 8.11: Estrutura da enerxía primaria en Galicia (%) ²⁰

Analizando o gráfico anterior, pódese observar que a mestura eléctrica en Galicia está conformada na súa meirande parte por enerxías renovables ou que presentan unhas emisións de CO₂ a atmosfera que se consideran neutras, como é o caso da biomasa. O factor de emisión que se produciría en caso de ser esta a mestura real, sería moi positivo ou case nulo.

Do mesmo xeito que non é recomendable o emprego de datos de outros anos dentro dunha mesma zona xeográfica, menos aconsellable resulta a utilización de datos de outros países, xa que a mestura de xeración eléctrica varía substancialmente dependendo da rexión na que nos atopemos, xa que cada unha emprega diferentes fontes para a produción da súa electricidade.

²⁰ Elaboración propia a partir dos datos ofrecidos polo documento “Balance enerxético de Galicia 2012”.

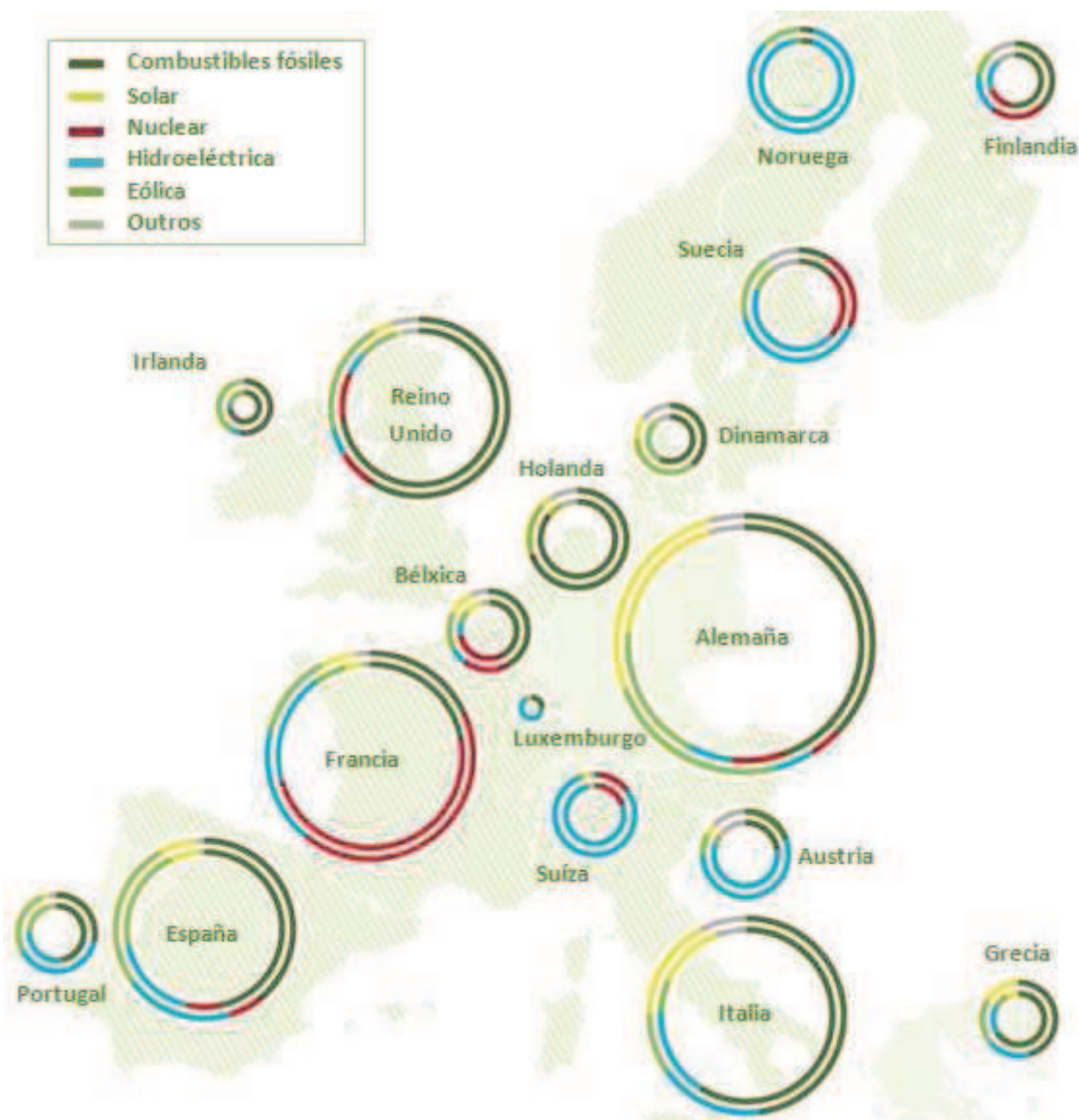


Figura 8.12: Mesturas eléctricas en diferentes países de Europa²¹

Na figura anterior pódense observar as distintas mesturas eléctricas que presentaron algúns dos países europeos no ano 2012, sendo as máis positivas as comunidades nórdicas.

Outro dos problemas que se atoparon á hora de desenvolver esta metodoloxía foi o de intentar determinar o factor de emisións para o ano 2013. Ao non poder contar cos datos que ofrece o INEGA, por non estar a disposición do público xeral, non se pode localizar outra fonte que presente datos específicos para Galicia, xa que a Rede Eléctrica de España contabiliza os valores por igual para todo o territorio

²¹ Elaboración propia a partir dos datos ofrecidos polo instituto de economía e finanzas “Bearing Point”.

peninsular e os datos concretos de produción por comunidades non son accesibles publicamente.

Establécese un sistema de mestura eléctrico no que cada comunidade verte á rede nacional toda a electricidade xerada. A enerxía producida non está diferenciada por zonas, polo que logo do vertido por parte das centrais de produción, a electricidade mestúrase, dando lugar a un conxunto eléctrico que é o que se subministra aos distintos puntos de consumo, sendo o mesmo en tódolos territorios.

Partindo deste suposto, para determinar o factor de emisión correspondente ao consumo de electricidade, analizouse a mestura eléctrica nacional, empregando os datos correspondentes ao ano 2013.

Recollendo e analizando os datos de produción mensuais por cada tecnoloxía a nivel nacional, obtivéronse os valores de xeración de electricidade totais, correspondentes ao ano anterior. Unha vez recadada esta información, é preciso establecer uns coeficientes de emisión de dióxido de carbono específicos para cada tecnoloxía. Estes valores están regulados e publícanse regularmente, modificándoos e actualizándoos en caso de ser necesario.

Existen diversas fontes que ofrecen valores para os factores de emisión de CO₂, quedando os valores finais de enerxía incorporada debida ao consumo de electricidade, cinguidos aos factores escollidos. Numerosas fontes consultadas presentan, para o mesmo ano, distintos factores de emisión eléctricos, co cal vese incrementada a dificultade á hora de escoller uns factores axeitados e que sexan veraces.

Organizacións como WWF, realizan publicacións mensuais de balances eléctricos, nos que tamén se inclúen valores de factores de emisión. A Rede Eléctrica de España tamén dispón dos seus factores de emisión grazas aos cales, calculan as emisións producidas pola xeración da electricidade. Por outra banda, o Ministerio de Industria, Enerxía e Turismo, tamén ofrece outro valor distinto para a emisión de CO₂ da electricidade, que empregan nas ferramentas ofrecidas por dito organismo en materia de certificación enerxética. Incluso as nosas facturas eléctricas recollen un valor para as emisións de dióxido de carbono debidas á electricidade que consumimos nos nosos fogares. Como cabe agardar, ningún dos valores citados coincide.

Nesta metodoloxía de cálculo recorreuse ás publicacións que realiza o IDAE, xa que esta é a fonte que se emprega durante todo o desenvolvemento da mesma. No documento “Factores de conversión Energía final - Energía primaria y factores de emisión de CO₂ – 2011”, defínense os factores de emisión correspondentes a cada instalación de xeración eléctrica. Non está dispoñible polo momento unha publicación

máis recente, co que se establece que os datos aportados por este informe son os máis recentes actualmente.

Na táboa seguinte, preséntase un resumo das porcentaxes de produción eléctrica distribuídas por tecnoloxías e de como se obtivo o valor do factor de emisións de dióxido de carbono empregado por esta metodoloxía de cálculo, definido para a análise en punto de consumo:

TECNOLOXÍA	MWh/ano (2013)	% XERACIÓN	FACTOR DE EMISIÓN	tCO ₂ /MWh
HIDRÁULICA (RO)	33.970.000	0,127	0	0,000
NUCLEAR	56.827.000	0,213	0	0,000
CARBÓN	39.806.000	0,149	1,09	0,163
FUEL + GAS	0	0,000	0,42	0,000
CICLO COMBINADO	25.090.000	0,094	0,41	0,039
HIDRÁULICA (RE)	7.099.000	0,027		0,000
EÓLICA	54.338.000	0,204		0,000
SOLAR FOTOVOLTAICA	7.915.000	0,030		0,000
SOLAR TÉRMICA	4.440.000	0,017		0,000
TÉRMICA RENOVABLE	5.063.000	0,019		0,000
COXERACIÓN E RESTO	31.988.000	0,120	0,48	0,057
TOTAL PRODUCCIÓN	266.536.000	1,000		0,258

Figura 8.13: Factor de emisión de CO₂ para a electricidade²².

Como se pode observar, o factor final asociado ás emisións de CO₂ debidas ao emprego de electricidade como fonte enerxética, reflicte un valor de 0,258 Kg de CO₂ por cada kWh utilizado en punto de consumo. Este é o factor de emisións que se desenvolveu para esta metodoloxía, adoptando uns criterios de cálculo específicos e empregando os factores de emisión referentes ás distintas plantas de produción eléctrica ofrecidos polo IDAE. Están xustificadas e definidos tódolos parámetros de análise empregados e as fontes das cales proceden os datos utilizados están perfectamente enmarcadas.

Non ocorre así con outras fontes de información que tamén ofrecen datos sobres os factores de emisión de CO₂ da mestura eléctrica nacional. Por exemplo, a organización WWF publica mensual e anualmente un documento que recolle a información sobre o sector de produción de electricidade en España. Para o ano 2013,

²² Elaboración propia para esta metodoloxía a partir dos datos ofrecidos no documento “Factores de conversión Energía final -Energía primaria y factores de emisión de CO₂ – 2011” do IDAE.

dita organización asignou un valor de 0,178 Kg de CO₂/ kWh²³ como factor de emisións, cifra que resulta moi inferior á definida neste proxecto, debido a que está referida só a kWh xerados e non consumidos. Incluso o propio IDAE propón un valor para o factor de emisións establecido en 0,399 Kg de CO₂ por cada kWh²⁴ de enerxía final, definido para ser empregado nas ferramentas de cálculo de certificacións enerxéticas das edificacións.

A variedade de factores de emisión dispoñible actualmente e sen coñecer a estrutura de cálculo que se seguiu para a súa estimación, fixo que nesta metodoloxía se optase por asignar un valor específico calculado expresamente para tal fin, e empregando as mesmas fontes que foron utilizadas en análises anteriores, mantendo a rigorosidade que se pretende conseguir desenvolvendo esta metodoloxía de cálculo tanto da enerxía como do carbono incorporados.

8.3.3. Emisións debidas á xeración de electricidade de orixe renovable

Na actualidade existen dúas orixes posibles da enerxía eléctrica en instalacións e edificios: mediante conexión directa á rede de subministro, sendo esta pertencente á mestura eléctrica nacional e común, ou por contratación de enerxía limpa e/ou xeración propia mediante enerxías renovables.

A primeira das dúas vías xa está contemplada no caso anterior, no que se estableceron as emisións de CO₂ correspondentes ao consumo de cada kWh, debidas a este tipo de mestura eléctrica, no que se engloban as distintas tecnoloxías de xeración empregadas no noso país.

Por outra banda, existe a posibilidade de que a compañía subministradora de electricidade que os distintos entes teñan contratada, pertenza ao grupo de produtores de enerxía limpa certificada, isto é, que aínda que unha edificación estea conectada á rede xeral de distribución, a electricidade que consume procede da xeración a partir de fontes totalmente renovables.

Este tipo de compañías estanse a ver incrementadas nos últimos tempos debido á concienciación cidadá, que se move cara un sistema enerxético máis sostible, e preséntase na súa maioría en forma de cooperativas enerxéticas. Nestes grupos o consumidor é participante da empresa xeradora, que dedica os fondos da mesma a construción de instalacións de xeración de electricidade con fontes renovables.

²³ “Observatorio de la electricidad año 2013”. WWF

²⁴ “Coeficientes de paso de emisiones de CO₂ y consumo de energía primaria para soluciones alternativas del RITE”. IDAE 2013.

Este tipo de compañías aseguran que todos os quilovatios consumidos polos cooperantes proceden de enerxía limpa, asegurando a orixe da mesma a través dun certificado de orixe dos produtores de enerxía. Isto implica que na obtención da electricidade consumida non se produce ningún tipo de emisión a atmosfera, co que o factor de emisións de CO₂ para este caso é nulo, co que se reflicte que na ferramenta de cálculo terá un valor igual a cero.

Existen dentro da península ibérica numerosos grupos ou cooperativas enerxéticas deste tipo. Aquí en Galicia contamos co grupo de recente creación Nosa Enerxía S.C.G., que está en proceso de prácticas de subministración de enerxía renovable aos integrantes do mesmo.

De xeito parello ocorre coas construcións que contén con instalacións de xeración de electricidade a partir de fontes renovables propias e desconectadas totalmente da rede xeral.

A electricidade que producen é a que consumen, e se non dispoñen de ningunha outra fonte de alimentación, o factor de emisións que presentan tamén será nulo. Isto ocorre en edificacións sostibles, que contan cun deseño que favorece a redución das necesidades enerxéticas e que cobren a demanda restante con enerxías de carácter renovable.

Tamén se pode dar o caso de que a construción a realizar se encontre sita nunha cidade sostible, como ocorre no caso de MASDAR, un proxecto que se está a levar a cabo nos Emiratos Árabes Unidos e que dirixe o arquitecto Norman Foster. Dito proxecto consta dunha cidade na que toda a enerxía que se consume provén de enerxía solar, dada a situación estratéxica do país para a obtención de electricidade a partir deste recurso, tan abundante naquel territorio.

No caso citado desta cidade, toda a enerxía que se consuma terá a súa orixe nunha fonte renovable de enerxía, provocando esta situación, que o impacto da cidade no medio verase moi reducido, e as emisións de CO₂ debidas ao consumo eléctrico serán totalmente nulas.

En todas as situacións comentadas, a electricidade que se consume nas diferentes edificacións e instalacións ten a súa orixe en fontes de enerxía renovables, dando lugar a unha mestura enerxética na que a xeración eléctrica non presenta ningún tipo de impacto no ambiente circundante, o que dá lugar a un factor de emisións de CO₂ igual a cero.

Nesta metodoloxía diferéncianse as dúas orixes da electricidade consumida, tendo a procedente da mestura nacional un índice de emisións de 0,285 kg de CO₂/kWh e a de orixe renovable 0,000 kg de CO₂/kWh.

8.3.4. Emisións de proceso

As emisións de proceso defínense como as emisións de gases de efecto invernadoiro, distintas das emisións de combustión, que se producen como resultado de reaccións, intencionadas ou non, entre substancias, ou a súa transformación, incluíndo a redución química ou electrolítica de minerais metálicos, a descomposición térmica de substancias e a formación de substancias para utilizalas como produtos ou materias primas para procesos²⁵.

No caso referente a esta metodoloxía, as emisións de proceso só engloban as liberacións que se producen de CO₂, xa que estamos analizando unicamente o carbono incorporado, non a totalidade da pegada de carbono.

Para proceder á estimación das emisións de proceso que teñen lugar na fase de fabricación ou reciclado dos materiais de construción, os datos recollidos ata o momento non son suficientes. Neste aspecto a fase de recollida de datos difire con respecto á correspondente á enerxía incorporada. É necesario coñecer, a parte de tódolos valores dos que xa se dispón debido a cálculos anteriores, da cantidade de carbonatos que son contidos nas distintas materias primas empregadas para a obtención dos produtos, xa que son estes os causantes das emisións de proceso.

Unha vez coñecido o volume de carbonatos presentes nas materias primas, procédese á aplicación dun factor de emisión de CO₂ a atmosfera, que representa a cantidade de CO₂ pertencente á composición química inicial que é liberada, e dun factor de conversión, xa que non todo o carbono contido nas materias primas orixinais se converte en dióxido de carbono, sempre quedan algúns residuos en forma de borrala. A fórmula de cálculo desenvolvida para esta metodoloxía, queda expresada como segue:

$$CI_{PROC} = V_{TOTAL} \cdot \%CA \cdot F_{CO2}$$

Ecuación 9 ⁽²⁶⁾

Onde:

CI_{PROC} = carbono incorporado debido ás emisións de proceso que teñen lugar polo tratamento dos distintos materiais na súa fabricación (Kg de CO₂).

V_{TOTAL} = volume total de cada materia prima que presenta na súa composición algún tipo de carbonatos (toneladas).

²⁵ Directiva 2007/589/CE do Parlamento Europeo, pola que se establecen directrices para o seguimento e notificación das emisións de gases de efecto invernadoiro.

²⁶ Elaboración propia para o cálculo das emisións de proceso a partir desta metodoloxía.

$\%_{CA}$ = porcentaxe de carbonatos que están presentes na materia prima empregada para a fabricación dos distintos produtos.

F_{CO_2} = factor obtido da unión dos factores de emisión e conversión, asociado a cada tipo de carbonato.

Os factores de emisión F_{CO_2} presentan un valor específico para cada tipo de carbonato marcado por distintas normativas de aplicación, quedando recollidos a modo de resumo na seguinte táboa:

CARBONATOS	Kg de CO ₂ /Tn
CaCO ₃	440
MgCO ₃	522
BaCO ₃	223
Na ₂ CO ₃	415
Dolomía	480
Li ₂ CO ₃	596
K ₂ CO ₃	318
SrCO ₃	298
NaHCO ₃	484

Figura 8.14: Factores de emisión de CO₂ por cada tipo de carbonato²⁷.

A diferenza dos factores de emisión de CO₂ establecidos para as emisións de combustión, os factores definidos para as emisións de proceso non dependen de situacións externas, son inherentes á natureza do material, polo que non varían ao longo do tempo e non é necesaria a súa actualización. Son moitas as publicacións que recollen estes valores e en todas son semellantes.

Por esta razón, para esta metodoloxía escóllense os valores xa recoñecidos por distintas investigacións e que quedan recollidos na táboa 8.3.

O método de cálculo que aquí se propón baséase no contido de carbonatos inicial que se encontra nas materias primas que serven para a fabricación dos distintos materiais de construción. Porén, as distintas normativas tamén recollen metodoloxías que están formuladas a partir da medición directa das emisións nos propios fornos de fabricación. Estes métodos requiren dunha instalación específica para poder regular as emisións que se producen ao ambiente e non todas as industrias a posúen, polo que non se pode aplicar de xeito xeneralizado.

²⁷ Elaboración propia para esta metodoloxía a partir dos datos ofrecidos na Directiva 2007/589/CE do Parlamento Europeo, pola que se establecen directrices para o seguimento e notificación das emisións de gases de efecto invernadoiro.

9 EXPOSICIÓN DA FERRAMENTA DE CÁLCULO

Unha vez explicada a metodoloxía a seguir, proposta por este proxecto, para levar a cabo o cálculo da enerxía e do carbono incorporados, tanto nun material en concreto como nun edificio na súa totalidade, desenvólvese paralelamente unha aplicación informática que permite complementar e obter os resultados buscados.

Para favorecer o emprego e divulgación das fórmulas de cálculo aportadas nesta metodoloxía, veuse necesaria a creación dunha ferramenta que permitise aos distintos membros do proceso construtivo, coñecer os valores correspondentes á enerxía e ao carbono incorporados dun xeito máis dinámico, práctico e directo. O mellor xeito de conseguir estes obxectivos é deseñar unha aplicación que permite elaborar un estudo pormenorizado dos impactos de estudo.

Neste apartado explicarase o funcionamento de dita ferramenta de cálculo, indicando a estrutura e os datos a introducir na mesma para poder realizar as operacións precisas e conseguir os valores finais dos impactos ambientais mencionados.

9.1. CARACTERÍSTICAS DA APLICACIÓN INFORMÁTICA

A aplicación informática que nos serve de soporte para esta metodoloxía está desenvolvida en formato Excel e componse de distintas pestanas, nas que se introducen os datos requiridos. En total, componse de seis pestanas diferentes, cinco das cales son correspondentes a cada unha das fases que define esta metodoloxía e a derradeira mostra os resultados obtidos, tanto en valor numérico, como en gráficos.

As pestanas definidas comprenden as fases de fabricación, transporte a obra, construción, vida útil e demolición. En cada unha delas o usuario debe de introducir os datos que lle son requiridos nas celas de cor máis clara. As demais celas échense automaticamente mediante a aplicación das fórmulas desenvolvidas e dos datos introducidos.

9.1.1. Fabricación

A primeira das pestanas cas que o usuario do programa se atopa é a de fabricación dos materiais empregados na construción. Dita pestana está deseñada para a obtención dos factores de emisión tanto da enerxía como do carbono incorporados

nos distintos elementos por unidade de produto. Estes factores son necesarios para a obtención dos resultados finais dos impactos ambientais incorporados na edificación.

Moitos dos fabricantes de produtos non dispoñen de DAP (Declaracións Ambientais de Produto), documento non obrigatorio que arroxa luz sobre os impactos ambientais que se producen na fabricación e tratamento dos distintos materiais, co que os datos que son necesarios para o cálculo non son coñecidos.

Isto é un serio problema, xa que son as propias empresas fabricantes as que mellor poden rexistrar os procesos que xorden nas súas instalacións, obtendo os mellores resultados en canto a análise dos impactos ambientais se refire.

Debido á falta destes datos en gran cantidade de casos, na ferramenta de cálculo desenvolvida apórtase un cadro que permite obter os valores de impacto de enerxía e carbono incorporados na fabricación do material, incluíndo tódalas etapas que se engloban neste proceso (extracción das materias primas, transporte á fábrica e procesamento). Para elo débense introducir os valores dos consumos de combustibles e carburantes que se producen ao longo de todo o proceso.

MATERIAL						
EMPRESA						
PERÍODO DE ANÁLISE		Ud produto				
PRODUCCIÓN TOTAL						
EXTRACCIÓN DE MATERIAS PRIMAS						
PROCESO	VOLUME (% /ud produto)	PERÍODO (ano)	FONTE ENERXÉTICA (ud comb.)	CONSUMO (ud comb./período)	FACTOR EMISIÓN (KWh/ud comb.)	
		1	LIGNITO NEGRO	Tn	9465,76	
		1	ELECTRICIDADE LIMPA	KWh	1,00	
		1	GAS NATURAL	Nm3	30,76	
		1	ELECTRICIDADE LIMPA	KWh	1,00	
		1	ELECTRICIDADE	KWh	1,00	
A cubrir polo usuario		1	GAS NATURAL	Nm3	30,76	
		1	ELECTRICIDADE	KWh	1,00	
		1	ELECTRICIDADE	KWh	1,00	
		1	ELECTRICIDADE	KWh	1,00	
		1	ELECTRICIDADE	KWh	1,00	
		1	ELECTRICIDADE	KWh	1,00	
		1	ELECTRICIDADE	KWh	1,00	
TRANSPORTE A FÁBRICA						
MODELO VEHÍCULO	DISTANCIA (Km)	CONSUMO (Litros/100 Km)	FONTE ENERXÉTICA (ud comb.)	EMISIÓN (Kg CO2/Km)	FACTOR EMISIÓN (KWh/Litros)	
			ELECTRICIDADE		1,00	
			GASÓLEO A-B		24,81	
			BIODIESEL		25,61	
			BIODIESEL		25,61	
			ELECTRICIDADE LIMPA		1,00	
			BIODIESEL		25,61	
			ELECTRICIDADE LIMPA		1,00	
			BIODIESEL		25,61	
			BIODIESEL		25,61	
			BIODIESEL		25,61	
			BIODIESEL		25,61	

PROCESO DE FABRICACIÓN					
PROCESO	VOLUME	PERÍODO	FONTE ENERXÉTICA	CONSUMO	FACTOR EMISIÓN
	(% /ud produto)	(ano)	(ud comb.)	(ud comb./período)	(KWh/ud comb.)
		1	CARBÓN PARA COQUE	Tn	20575,86
		1	GASÓLEO A-B	litros	24,81
		1	COQUE DE PETRÓLEO	Tn	28761,63
		1	ELECTRICIDADE LIMPA	KWh	1,00
		1	GASÓLEO A-B	litros	24,81
		1	ELECTRICIDADE	kWh	1,00
		1	ELECTRICIDADE	kWh	1,00
		1	ELECTRICIDADE	kWh	1,00
		1	ELECTRICIDADE LIMPA	KWh	1,00
		1	ELECTRICIDADE	kWh	1,00
		1	ELECTRICIDADE	kWh	1,00
PROCESO DE DESCARBONATACIÓN					
MATERIA PRIMA	VOLUME	PERÍODO	CARBONATOS	% CARBONATOS	FACTOR EMISIÓN
	(Tn)	(ano)		(%/Tn mat. prima)	(Kg CO2/Tn)
		1	NaHCO3		524
		1	Carbonato bórico		223
		1	Li2CO3		596
		1	SrCO3		298
		1	Carbonato bórico		223
RESULTADOS					
ENERXÍA INCORPORADA				0	kWh/ud
CARBONO INCORPORADO				0	Kg CO2/ud

Figura 9.1: Pestana de fabricación dos produtos de construción¹.

Como se pode comprobar na figura anterior, as celas de cor clara son de introdución manual polo usuario, quedando as de cor máis escura completadas automaticamente. As celas correspondentes ás fontes enerxéticas ofrecen un despregable no que se atopan recollidas as fontes enerxéticas que aparecen reflectidas no documento de consulta do IDAE. Esta estrutura repítese en tódalas pestanas da ferramenta.

Observando a pestana apréciase que durante este proceso tamén se inclúen as posibles emisións de proceso (debidas ao procesamento dos materiais) que se poidan producir durante a transformación e fabricación.

Nas derradeiras celas aparecen recollidos os resultados individualizados para cada material tanto de enerxía como de carbono incorporados. Estes serán os valores que se introducirán posteriormente na fase de construción do edificio.

Débense cubrir os datos para cada material ou produto empregados dos que non se coñezan os valores inicialmente. Solicitando a debida información ás empresas, podemos obter uns datos representativos dos impactos da actividade que levan a cabo.

¹ Ferramenta de cálculo de desenvolvemento propio para a aplicación da metodoloxía de cálculo proposta neste proxecto.

9.1.2. Transporte

A segunda pestana que incorpora a ferramenta de cálculo é a que se corresponde ca fase de transporte dos materiais ao punto de instalación dos mesmos.

Esta é a primeira das fases que dependen directamente da obra a realizar, xa que as distancias, consumos e medios empregados, varían de unha edificación a outra, ao contrario que a fase de fabricación do produto, que é independente do lugar de construción.

Por este motivo, a partir desta fase a introdución dos datos está dividida en capítulos de obra, que se axustan aos definidos nos distintos proxectos de execución, para facilitar a labor, tanto da introdución dos datos, como da recollida dos mesmos “in situ”.

TRANSPORTE A OBRA					
MATERIAL	MODELO VEHÍCULO	DISTANCIA (Km)	CONSUMO (ud comb/100 km)	EMISIONES (Kg CO2/Km)	FONTE ENERGÉTICA (ud comb)
MOVIMIENTO DE TIERRAS					GASOLINA
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
CIMENTACIÓN					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE
					ELECTRICIDADE

Figura 9.2: Extracto da pestana de transporte a obra dos produtos de construción².

Como se pode observar na figura anterior, a introdución de datos é similar en toda a ferramenta, precisando para esta fase o consumo e emisións do tipo de medio de transporte empregado, así como a distancia total recorrida.

Completando os distintos campos de cada partida de obra, obtemos os valores de enerxía e carbono incorporados nesta fase do proceso.

² Ferramenta de cálculo de desenvolvemento propio para a aplicación da metodoloxía de cálculo proposta neste proxecto.

9.1.3. Construción

A terceira das pestanas incluídas dentro da aplicación comprende a análise do proceso construtivo propiamente dito. Para elo realízase unha diferenciación entre os impactos producidos polo consumo de materiais e polo consumo de fontes enerxéticas, xa que como quedou reflectido en capítulos anteriores, para a obtención dos valores finais requírese da inclusión dos dous grupos de elementos.

Na pestana aparecen diferenciadas dúas columnas de datos, cada unha referida a cada grupo de impacto (fontes enerxéticas e materiais). Os valores a introducir en cada grupo son distintos, xa que no primeiro dos casos debemos coñecer o consumo dos combustibles e carburantes que se produce na instalación dos produtos, e no segundo caso debemos saber o valor de enerxía e carbono incorporados por unidade de produto de cada material. Estes últimos son os resultados obtidos na primeira pestana da ferramenta, na fase de fabricación dos materiais.

Ao igual que no apartado anterior, os datos dentro desta pestana tamén se introducen por capítulos de obra, para así ter máis concretados os produtos que pertencen a cada fase.

	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN				CONSUMO DE MATERIAIS		
	MAQUINARIA	FONTE ENERXÉTICA (ud comb.)	CONSUMO		MATERIAL	VOLUME TOTAL (ud produto)	FACTOR EMISIÓN (KWh/ud produto) (Kg CO2/ud produto)
		(Horas)	(ud comb./hora)	(ud comb.)			
MOVIMENTO DE TERRAS		GASOLINA			Litros		
		GASÓLEO A-B			Litros		
		ELECTRICIDADE LIMPA			KWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		GASOLINA			Litros		
		GASÓLEO A-B			Litros		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		
		ELECTRICIDADE			kWh		

Figura 9.3: Extracto da pestana de construción³.

Como se pode apreciar na figura anterior, os datos referidos ao proceso construtivo están reflectidos a partir do rendemento da diferente maquinaria empregada na instalación dos produtos. Isto quere dicir que en base ao consumo de combustible horario que presentan as máquinas e co coñecemento das horas

³ Ferramenta de cálculo de desenvolvemento propio para a aplicación da metodoloxía de cálculo proposta neste proxecto.

consumidas en cada actividade construtiva, pódense coñecer os valores de enerxía e carbono incorporados nesta fase.

En canto ao consumo de materiais, é necesario coñecer a cantidade total que se emprega de cada produto en cada partida, dato que se pode extraer do proxecto de execución. Ademais, é preciso o coñecemento dos factores de emisión de enerxía e de carbono, para poder obter os resultados finais adheridos ao edificio.

Con estes valores e aportando a superficie construída total da edificación, a ferramenta de cálculo ofrece resultados tanto en valor total como por m² de vivenda.

9.1.4. Vida útil

A penúltima pestana que nos atopamos dentro das fases a completar é a que se corresponde coa análise da vida útil da edificación. Como xa se indicou, existen elementos dentro dunha construción que requiren dun mantemento, reforma ou incluso renovación co paso dos anos, xa que o seu período de utilización é inferior ao do edificio en cuestión.

Estes cambios que xorden durante o período de utilización tamén deben de ser analizados e incluídos dentro da análise ambiental que se está a levar a cabo. A substitución de canles de saneamento, ventás ou incluso cubertas, tamén produce impactos ambientais que deben ser contabilizados.

O proceso de análise é semellante ao levado a cabo no proceso construtivo, ca incorporación necesaria dun proceso de retirada dos materiais existentes e da consecuente xeración de residuos.

	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN				CONSUMO DE MATERIAIS			
	MAQUINARIA	FONTE ENERXÉTICA (ud comb.)	CONSUMO (Horas) (ud comb./hora) (ud comb.)		MATERIAL	VOLUME TOTAL (ud produto)	FACTOR EMISIÓN (KWh/ud produto) (Kg CO2/ud produto)	
MOVIMENTO DE TERRAS		GASOLINA			Litros			
		GASÓLEO A-B			Litros			
		ELECTRICIDADE LIMPA			KWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			
		ELECTRICIDADE			kWh			

TRANSPORTE A PLANTA DE TRATAMENTO DE RESIDUOS				
MODELO	FONTE ENERXÉTICA	DISTANCIA	CONSUMO	EMISIONS
	(ud comb.)	(Km)	(Litros/100 Km)	(Kg CO2/100 Km)
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
	ELECTRICIDADE			
PROCESO DE RECICLADO				
PROCESO	FONTE ENERXÉTICA	CONSUMO	VOLUME	
	(ud comb.)	(ud comb.)	(ud produto)	
	BIODIESEL		Litros	
	GASÓLEO A-B		Litros	
	ELECTRICIDADE		kWh	
	ELECTRICIDADE LIMPA		kWh	
	GASÓLEO A-B		Litros	
	ELECTRICIDADE		kWh	
	ELECTRICIDADE		kWh	
	ELECTRICIDADE		kWh	
	ELECTRICIDADE		kWh	

Figura 9.4: Extracto da pestana de vida útil⁴.

Como podemos comprobar, a maiores do proceso construtivo que se leva a cabo durante a reforma dunha parte dunha edificación, englábanse unhas celas que se corresponden coa análise da fase de transporte dos residuos xerados á debida planta de tratamento, así como o tratamento de reciclado que se produce para cada material.

Ámbalas fases contempladas están baseadas no consumo de combustibles e carburantes para a obtención dos valores de enerxía incorporada e carbono incorporado.

9.1.5. Demolição

A derradeira fase contemplada nesta metodoloxía de análise e que se aplica na ferramenta de cálculo é a correspondente ao proceso de demolição e reciclado dos distintos compoñentes dunha edificación.

Como en pestanas anteriores, as columnas de introdución de datos son semellantes, xa que tódolos procesos recollidos nesta fase, xa se presentaron en fases previas.

⁴ Ferramenta de cálculo de desenvolvemento propio para a aplicación da metodoloxía de cálculo proposta neste proxecto.

10 EXEMPLO DE APLICACIÓN

Como derradeiro punto a tratar na explicación e exposición da metodoloxía de cálculo desenvolvida especificamente como obxectivo deste proxecto, levarase a cabo un exemplo de aplicación directa de cómo proceder á hora de obter os resultados da enerxía e do carbono incorporados nun produto de construción.

Para a consecución dos resultados finais, realízase o procedemento e aplícanse os parámetros definidos por esta metodoloxía, comezando pola análise dos elementos comprendidos no estudo, levando a cabo a recollida dos distintos datos necesarios e aplicando a ferramenta de cálculo desenvolvida, facilitando o labor á hora de facer os cálculos precisos.

Debido á dificultade que presenta a análise completa dun edificio, xa que a solicitude dos datos necesarios ás distintas empresas fabricantes de tódolos produtos constituíntes dun proxecto requiriría dun longo proceso de recolleita, o cal non se cingue ao período de realización deste proxecto, como exemplo de aplicación da metodoloxía proposta analizarase un material de construción en concreto.

10.1. ANÁLISE DO PROXECTO

Realizarase a análise da enerxía e do carbono incorporados dun material de construción de xeito individual. Neste caso o estudo levarase a cabo sobre un tabique interior realizado con ladrillo cerámico de tipo oco dobre.

Establécense unhas dimensións de tabique de 10 x 2 metros, o que resulta un tabique interior de 20 m². Os ladrillos empregados son cerámicos, de dimensións 24 x 8 x 11,5, cun peso calculado de 1,60 kg por cada unidade e que presentan un rendemento de 32 unidades de ladrillo por cada m² de tabique. Ademais, recóllese que en cada unidade de transporte se inclúen 400 unidades de ladrillo.

Cos datos anteriores, defínese a cantidade total de material que se require para a execución total do elemento construtivo a estudar:

$$32 \text{ ud/m}^2 \cdot 1,60 \text{ kg/ud} \cdot 20 \text{ m}^2 = 1.024 \text{ kg de ladrillo}$$

10.2. RECOLLIDA DE DATOS

Nesta fase lévase a cabo a recollida de tódolos factores de emisión requiridos para o cálculo, a tipoloxía de maquinaria e ferramentas necesarias para a execución do elemento construtivo e demais valores necesarios.

Para a aplicación e demostración de uso da ferramenta desenvolvida nesta metodoloxía, solicitóuselle a distintas empresas fabricantes de materiais de construción a participación neste estudo, mediante o aporte da información correspondente á súa produción e consumos enerxéticos.

Desgraciadamente, da maioría das empresas consultadas non se obtivo resposta, motivo polo cal tampouco se levou a cabo un exemplo de aplicación maior, xa que a pouca colaboración mostrada por parte do sector industrial non favorece o avance desta investigación.

Só se puideron recoller datos de varias empresas, todas elas fabricantes de distintos produtos cerámicos (ladrillo, tella, termoarxila...). A continuación amósase un resumo dos datos obtidos ordenados por fases, correspondentes a un ano completo de produción de material:

FÁBRICA CERÁMICA 1			
LADRILLO OCO			
FASE	ELEMENTO	FONTE ENERXÉTICA	CANTIDADE
Extracción das materias primas	Retroescavadora	Gasóleo	3.000 litros
Transporte a planta	Camión	Gasóleo	1.800 litros
Fabricación	Fornos	Gas natural	3.090.000 Nm ³
	Equipo de combustión	Carbón	75 Tn
	Equipos	Electricidade	4.383.120 kWh
	Pala cargadora	Gasóleo	5.000 litros
	Carretas de transporte	Gasóleo	1.125 litros
Produción	4.950.000 Kg		
Energía incorporada	20,61 kWh/kg		
Carbono incorporado	2,55 kg CO ₂ /kg		

Figura 10.1: Datos de fabricación de ladrillo oco¹.

FÁBRICA CERÁMICA 1			
LADRILLO PERFORADO 9 - 7			
FASE	ELEMENTO	FONTE ENERXÉTICA	CANTIDADE
Extracción das materias primas	Retroescavadora	Gasóleo	4.500 litros
Transporte a planta	Camión	Gasóleo	2.700 litros
Fabricación	Maquinaria	Gasóleo	16.388 litros
	Fornos	Gas natural	4.635.000 Nm ³

¹ Elaboración propia a partir dos datos aportados pola empresa fabricante.

Fabricación	Equipo de combustión	Carbón	112,5 Tn
	Equipos	Electricidade	720.000 kWh
	Equipos	Fuel	153,3 litros
	Pala cargadora	Gasóleo	7.500 litros
	Carretas de transporte	Gasóleo	1.688 litros
Producción	7.425.000 Kg		
Enerxía incorporada	19,72 kWh/kg		
Carbono incorporado	1,73 kg CO ₂ /kg		

Figura 10.2: Datos de fabricación de ladrillo perforado de dimensiones 9 - 7².

FÁBRICA CERÁMICA 1			
LADRILLO PERFORADO 10			
FASE	ELEMENTO	FONTE ENERXÉTICA	CANTIDADE
Extracción das materias primas	Retroescavadora	Gasóleo	6.000 litros
Transporte a planta	Camión	Gasóleo	1.600 litros
Fabricación	Maquinaria	Gasóleo	21.850 litros
	Fornos	Gas natural	6.180.000 Nm ³
	Equipo de combustión	Carbón	150 Tn
	Equipos	Electricidade	960.000 kWh
	Equipos	Fuel	204,4 litros
	Pala cargadora	Gasóleo	10.000 litros
	Carretas de transporte	Gasóleo	2.250 litros
Producción	9.900.000 Kg		
Enerxía incorporada	19,72 kWh/kg		
Carbono incorporado	1,73 kg CO ₂ /kg		

Figura 10.3: Datos de fabricación de ladrillo perforado de dimensiones 10².

FÁBRICA CERÁMICA 2			
LADRILLO PERFORADO CARA VISTA			
FASE	ELEMENTO	FONTE ENERXÉTICA	CANTIDADE
Extracción das materias primas	Retroescavadora	Gasóleo	23.500 litros
Transporte a planta	Camión	Gasóleo	22.000 litros
Fabricación	Maquinaria	Gasóleo	110.000 litros
	Fornos	Gas natural	4.950.000 Nm ³
	Equipo de combustión	Carbón	150 Tn
	Equipos	Electricidade	7.482.000 kWh
	Equipos	Gasóleo	17.200 litros
Producción	110.000.000 Kg		
Enerxía incorporada	1,49 kWh/kg		
Carbono incorporado	0,17 kg CO ₂ /kg		

Figura 10.4: Datos de fabricación de ladrillo perforado cara vista².

² Elaboración propia a partir dos datos aportados pola empresa fabricante.

FÁBRICA CERÁMICA 3			
BLOQUE CERÁMICO DE TERMOARXILA			
FASE	ELEMENTO	FONTA ENERXÉTICA	CANTIDADE
Extracción das materias primas	Retroescavadora	Gasóleo	35.000 litros
Transporte a planta	Camión	Gasóleo	62.849 litros
Fabricación	Maquinaria	Gasóleo	135.409 litros
	Fornos	Gas natural	3.123.149 Nm ³
	Equipos	Electricidade	3.400.952 kWh
	Equipos	Gasóleo	21.680 litros
	Equipos	Gasóleo	12.380 litros
Produción	78.445.000 Kg		
Enerxía incorporada	1,35 kWh/kg		
Carbono incorporado	0,16 kg CO ₂ /kg		

Figura 10.5: Datos de fabricación de bloque cerámico de termoarxila³.

FÁBRICA CERÁMICA 4			
TELLA CERÁMICA			
FASE	ELEMENTO	FONTA ENERXÉTICA	CANTIDADE
Extracción das materias primas	Retroescavadora	Gasóleo	20.000 litros
Transporte a planta	Camión	Gasóleo	63.900 litros
Fabricación	Maquinaria	Gasóleo	72.000 litros
	Fornos	Gas natural	3.000.000 Nm ³
Produción	2.650.000 Kg		
Enerxía incorporada	36,28 kWh/kg		
Carbono incorporado	3,09 kg CO ₂ /kg		

Figura 10.6: Datos de fabricación de tella cerámica³.

Os datos anteriormente presentados son os ofrecidos polas empresas fabricantes, sendo estes os reais obtidos directamente en fábrica. Como se pode comprobar en base aos resultados mostrados nas táboas anteriores, os valores de enerxía incorporada e carbono incorporado varían substancialmente dependendo da empresa fabricante, dos equipos e elementos de combustión empregados, da tipoloxía de fonte enerxética utilizada...

Existen algúns valores que algunhas das empresas non ofreceron, que son os valores de porcentaxes de carbonatos presentas na materia prima. Neste caso, estableceuse que a media nacional da porcentaxe de carbonatos na materia prima empregada é dun 7%⁴.

³ Elaboración propia a partir dos datos aportados pola empresa fabricante.

⁴ “Informe sobre o cambio climático no sector”. Asociación española de Fabricantes de Ladrillos e Tellas de Arxila Cocida.

10.3. SEGUIMIENTO DA CONSTRUCIÓN, VIDA ÚTIL E DEMOLICIÓN

Unha vez conseguidos todos os datos requiridos para proceder a realizar o cálculo, estes introdúcese na aplicación informática asociada á metodoloxía, para obter os datos finais de enerxía e carbono incorporados, englobando no estudo todas as fases construtivas “de berce a tumba”.

Os valores establecidos para o cálculo son os seguintes:

Transporte

O vehículo de transporte empregado para levar a mercancía dende o punto de fabricación ata o lugar de instalación é un camión de dous eixes de carga xeral, cunha carga máxima de 9,5 Tn. Este tipo de vehículo presenta un consumo de 26 litros por cada 100 Km recorridos. Non se coñece o factor de emisións de CO₂, polo que a enerxía incorporada neste capítulo obterase a partir do consumo de carburante.

Construción

Na colocación dos ladrillos en obra non intervén ningunha maquinaria en especial, xa que se trata dun proceso tradicional con colocación manual. Neste capítulo só se contemplan consumos na descarga do material do camión ata o punto de instalación, resolto co emprego de grúa torre.

Vida útil

Establécese que o período de uso útil dun tabique de ladrillo é semellante ao do total da edificación, sendo este elemento construtivo un dos que non require de ningún proceso de reforma en situacións normais. Por tanto, neste capítulo non se recolle consumo algún, nin de materiais nin enerxético.

Demolición

No proceso de demolición requírese do emprego dunha pala cargadora encargada de transportar os residuos ao camión. É necesario un camión basculante para o transporte dos residuos xerados á planta de tratamento. Lévese a cabo un proceso de reciclado, consistente nun machucado para obter árido para recheos.

A continuación, móstrase o resumo da introdución dos datos na ferramenta e os resultados obtidos ofrecidos pola mesma:

TRANSPORTE A OBRA					
MATERIAL	MODELO VEHÍCULO	DISTANCIA	CONSUMO	EMISIONES	FONTE ENERXÉTICA
		(Km)	(ud comb/100 Km)	(Kg CO ₂ /Km)	(ud comb)
Ladrillo oco dobre de 8 cm	Vehículo 2 eixes carga xeral (9,5 Tn)	100	26	---	GASÓLEO A-B
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN					
MAQUINARIA	FONTE ENERXÉTICA	CONSUMO			
	(ud comb.)	(Horas)	(ud comb./hora)	(ud comb.)	
Grúa torre	ELECTRICIDADE	1	30	kWh	
CONSUMO DE MATERIAIS					
MATERIAL	VOLUME TOTAL	FACTOR EMISIÓN			
	(ud produto)	(KWh/ud produto)	(Kg CO ₂ /ud produto)		
Ladrillo oco dobre	1.024	20,61	2,55		
PROCESO DE DECONSTRUCCIÓN					
MAQUINARIA	HORAS	FONTE ENERXÉTICA	CONSUMO		
	(h)	(ud comb.)	(ud comb/hora)	(ud comb.)	
Pala cargadora	0,06	GASÓLEO A-B	23	Litros	
TRANSPORTE A PLANTA DE TRATAMENTO DE RESIDUOS					
MODELO	DISTANCIA	CONSUMO	FONTE ENERXÉTICA	EMISIÓNS	
	(Km)	(Litros/100 Km)	(ud comb.)	(Kg CO ₂ /100 Km)	
Camión basculante	100	41	GASÓLEO A-B		
PROCESO DE RECICLADO					
PROCESO	VOLUME	FONTE ENERXÉTICA	CONSUMO		
	(ud produto)	(ud comb.)	(ud comb.)		
Triturado	1.024	ELECTRICIDADE	1,125	kWh	

Figura 10.7: Análise do ciclo de vida do ladrillo cerámico⁵.

A figura anterior representa o resumo de todas as pestanas de introdución de datos que se encontran incluídas na ferramenta de cálculo deseñada. Como se pode comprobar, a pestana correspondente á análise da vida útil non está recollida en dito resumo, xa que como se mencionou anteriormente, o período de uso deste elemento coincide co total do edificio e tampouco se require de ningún tipo de mantemento.

⁵ Elaboración propia a partir da ferramenta de cálculo elaborada para esta metodoloxía.

En base aos valores introducidos anteriormente nas pestanas correspondentes, o programa de cálculo ofrece os seguintes resultados:

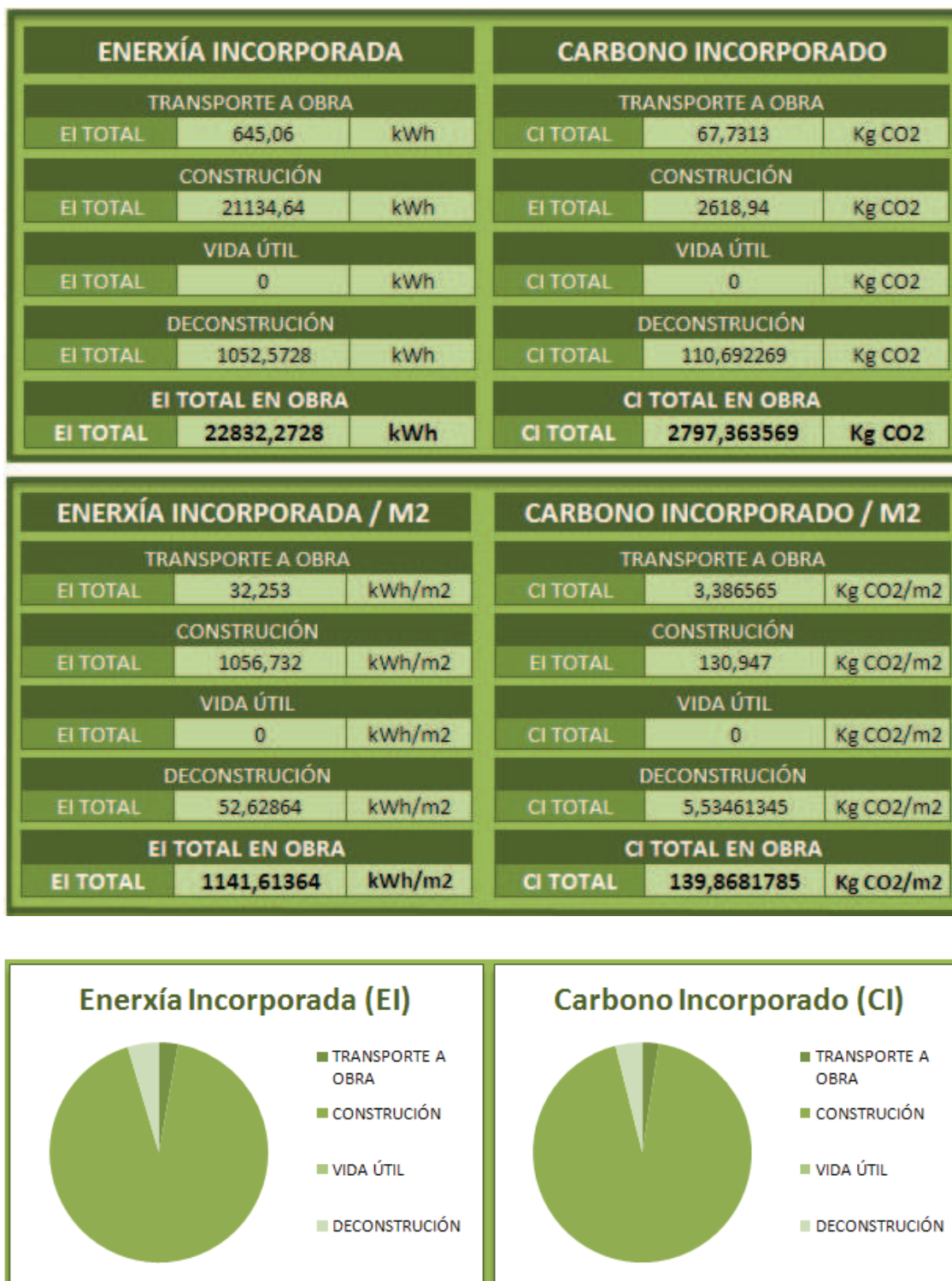


Figura 10.8: Resultados finais de enerxía e carbono incorporados no ladrillo cerámico⁶.

⁶ Elaboración propia a partir da aplicación informática elaborada exclusivamente para esta metodoloxía.

Como se pode apreciar na figura anterior, o capítulo que maior impacto ambiental presenta, en termos de enerxía e carbono incorporados, é o que se corresponde co proceso construtivo. Isto non é debido á instalación do material propiamente dita, senón ao consumo directo de produtos, neste caso ladrillos cerámicos oco dobre, que levan asociado un impacto de 20,61 KWh/Kg e 2,55 Kg de CO₂/Kg de material.

O proceso de transporte e instalación non representa un gran impacto, debido a que se estimou unha distancia recorrida de 100 Km, e o proceso construtivo dun tabique de ladrillo require na súa meirande parte, de medios manuais.

O impacto da vida útil é nulo e o da demolición e reciclado do mesmo tampouco presenta un impacto notable, xa que só se produce un machucado dos residuos xerados, sen ningún tipo de transformación do material nin emprego de grandes elementos consumidores de enerxía, como fornos ou maquinaria similar.

Os resultados asociados aos m² construídos, neste caso están referidos á superficie total de tabique realizada, por tratarse dun caso hipotético non que non se coñecen os valores reais de superficie construída da edificación no seu conxunto.

Este exemplo pretende demostrar a utilidade desta metodoloxía e da análise da enerxía e do carbono incorporados. Como se puido comprobar, unha das actividades que máis inflúe no medio e que máis contamina ao ambiente é precisamente a fabricación dos produtos que se empregan na construción.

Con este proxecto preténdese dar luz a análise ambiental dun sector que non ten afondado con suficiente rigor neste aspecto. Promovendo estes cálculos por parte de tódalas empresas e industrias participantes no proceso construtivo, pódese definir dende a fase de proxecto, un edificio máis sostible mediante o emprego de materiais, que aínda tratándose do mesmo produto, presenten características ambientais cun menor impacto no ambiente.

Botando unha ollada aos resultados dos factores de emisión dos distintos produtos analizados, pódese concluír que os medios de extracción e fabricación dos produtos inflúen en gran medida nos valores finais asociados.

Se toda a industria asociada á edificación contemplase estas análises, potenciaríase o emprego de materiais e produtos máis sostibles, conseguindo construcións máis eficientes, non só dende o ámbito do consumo enerxético durante o período de utilización do mesmo, senón contemplando todo o ciclo de vida do mesmo.

10.4. COMPARATIVA DE PRODUCCIÓN EN DIFERENTES PAÍSES

Unha das premisas para realizar as análises da enerxía e do carbono incorporados é que o emprego dos datos para o establecemento dos factores de emisión de cada produto estean asociados aos datos de produción enerxética de cada país e/ou comunidade.

Esta é unha premisa importante e clave, xa que cada país dispón da súa mestura de produción eléctrica e define uns factores de emisión por cada fonte enerxética diferentes.

Como xa se indicou en puntos anteriores, non é recomendable o emprego de datos externos a un territorio determinado, xa que estes non se corresponden ca realidade do sector enerxético da súa zona. É moi común na actualidade, que por mor da falta de datos no seu país, se empreguen as bases de datos de outros países, o que leva aparellado un erro importante e da como resultado valores dispares e inconexos.

A continuación, e para mostrar a diferenza que existe entre rexións, levarase a cabo unha análise da enerxía e do carbono incorporados que aparecen recollidos en distintas bases de datos a nivel europeo, as cales poñen a disposición dos usuarios os seus valores.

MATERIAL	PAÍS	BASE DE DATOS	ENERXÍA INCORPORADA	CARBONO INCORPORADO
			(kWh/kg)	(kg CO ₂ /kg)
Ladrillo oco	España	Metodoloxía proposta	22,30	2,73
Ladrillo oco	España	Banco BEDEC	1,97	0,54
Ladrillo oco	Reino Unido	ICE	0,83	0,23

Figura 10.9: Comparativa de factores de impacto do ladrillo oco⁷.

Como se pode apreciar na táboa anterior, os factores de enerxía e carbono incorporados varían substancialmente dependendo da base de datos que empreguemos, aínda correspondéndose a un mesmo país.

Isto é debido a que para a análise dos impactos non se empregan os mesmos factores de emisión ou porque non se teñen en conta tódolos procesos de fabricación. No caso do banco BEDEC, como xa se comentou en puntos anteriores, empregan datos tanto de fabricantes coma de outras bases de datos europeas, creando o erro nos resultados finais obtidos.

⁷ Elaboración propia a partir da ferramenta de cálculo elaborada para esta metodoloxía e da información consultada.

Os resultados obtidos ca metodoloxía de cálculo contemplan todos os impactos do proceso construtivo correspondentes a todo o ciclo de vida do produto, e os factores de emisión empregados son os ditados polos organismos oficiais do noso país. Cousa que non ocorre cos datos obtidos mediante as outras dúas bases de datos.

No inventario de carbono e enerxía ICE, só se teñen en conta os impactos relacionados ca fabricación dos produtos ata que están listos para a súa instalación. Ademais, dentro do mesmo tipo de material, non se fai distinción entre as distintas características e tipoloxías do mesmo. Por exemplo, no caso dos ladrillos, non se distingue entre ladrillo oco simple, oco dobre, perforado, bloque alixeirado..., senón que se asigna un valor único para todas as tipoloxías.

No caso do banco BEDEC, téñense en conta os impactos de fabricación e transporte, estando este último definido a priori para calquera obra realizada e sen ter en conta os datos específicos de cada proxecto. Ademais, algún dos valores dos factores de emisión aportados, están extraídos doutras bases de datos europeas, como o propio ICE ou a Ecoinvent.

Unha vez analizados os distintos valores aportados polas distintas bases de datos, pódese concluír que os resultados obtidos a través da metodoloxía de cálculo que se está a propoñer, obtéñense resultados verídicos e reais, axustados ás características particulares de cada proxecto, tendo en conta as diferenzas nos procesos de fabricación de cada industria e mediante o emprego de factores de emisión actualizados, oficiais e axustados á realidade do sector enerxético do país.

11 CONCLUSIÓNS

Analizando a situación actual na que o noso planeta se atopa, onde se está producindo unha redución drástica dos recursos naturais dispoñibles, está tendo lugar un proceso de quentamento global debido á contaminación producida, e na que o noso impacto sobre o mesmo está xerando cambios na climatoloxía e na calidade do aire, vese preciso tomar medidas que intenten reducir a nosa pegada ecolóxica no medio que nos rodea.

Dentro do noso país, un dos sectores que máis contribúe á xeración de substancias contaminantes é o sector da construción e os edificios. Nun intento de acadar as restricións establecidos polas normas europeas, xurdiu unha nova normativa en materia ambiental que marca uns obxectivos definidos co fin último de reducir as emisións de dióxido de carbono en España.

Estas normativas traducíronse no noso territorio, centrándose na mellora da eficiencia enerxética dos edificios, mediante proxectos de reforma da envolvente dos mesmos ou da mellora da eficiencia das instalacións. Coa implantación do certificado de eficiencia enerxética, realízase unha clasificación ambiental dos edificios co fin de dar luz á realidade construtiva existente e intentar mellorar a calidade das nosas construcións. Esta perspectiva está orientada a analizar e reducir os impactos que se producen no período de uso dos edificios, deixando a un lado, o resto de etapas que comprenden o ciclo de vida completo dos mesmos.

Facendo unha análise do cumprimento que estamos a ter con respecto ás directrices marcadas pola normativa, pódese extraer o dato de que non se están cumprindo as marxes límites de emisións a atmosfera, xa que España tivo que mercar bonos de carbono a outros países para evitar ser sancionada polos organismos europeos.

Ante esta situación, pódese comprobar que non se están realizando os esforzos precisos para a redución do impacto do sector, e vese necesaria a ampliación dos campos de actuación dentro do ámbito da construción para conseguir cumprir os obxectivos e obter edificios máis sostibles, non deixando limitados os estudos ao uso dos mesmos. É preciso o estudo de máis impactos ambientais do sector, como por exemplo analizar a enerxía e o carbono incorporados nos materiais de construción.

Como se puido comprobar no desenrolo deste proxecto, como resultado dunha análise específica dun elemento construtivo, obtívose que o maior impacto dentro do ciclo de vida do elemento tivo lugar na fabricación dos materiais empregados.

Se dende a fase de proxecto podemos incorporar estudos de enerxía e carbono incorporados, posibilitase a ampliación do campo de actuación sobre o que poder reducir as emisións e o impacto das actividades que se levan a cabo neste sector. Poder escoller materiais e produtos que mantendo as mesmas características presenten un menor impacto no medio, é unha das posibilidades que ofrece o estudo da enerxía e do carbono incorporados.

Se nun proxecto se suman a incorporación de produtos de mellor impacto, en base a ditas análises, co estudo das características enerxéticas da vivenda durante o seu período de uso, estarían englobadas todas as fases do ciclo de vida dun edificio, reducindo deste xeito, as emisións e impacto ambiental do mesmo en todos os puntos posibles e alcanzando o obxectivo último de redución de emisións a atmosfera.

O estudo dos valores de enerxía e carbono incorporados nos materiais de construción e nos edificios, levan sendo realizados noutros países dende fai varios anos, dispoñendo nalgúns zonas, de bases de datos propias e que contemplan as características do sector de produción de cada rexión. Este é o caso de Reino Unido ou Suíza, que xa dispoñen de estudos publicados que ofrecen como resultado unha recompilación dos factores de emisión asociados a cada produto.

Detectouse un problema á hora de levar a cabo as análises de enerxía ou carbono incorporados e este reside en que na actualidade non está desenvolvida unha metodoloxía de cálculo recoñecida e adaptada, para facer os cálculos dos mesmos, co que en cada estudo, se escollen uns métodos e sistemas de análise propios, dando lugar a que a avaliación final dos impactos sexa moi variable.

Como resultado deste proxecto de fin de mestrado, obtívose unha metodoloxía específica e adaptada ao ámbito de todo o territorio español, para precisamente obter os resultados da enerxía e do carbono incorporados nos produtos de construción. Ademais, elaborouse unha ferramenta informática de cálculo, que permite levar a cabo a estimación e a obtención de resultados de ditos impactos.

Dita metodoloxía xorde ante a carencia dun procedemento de cálculo a seguir e permite a elaboración de estudos uniformes, cos que se poidan realizar comparativas de materiais, podendo así, realizar a escolla de produtos máis sostibles.

Outra conclusión extraída logo de realizar este proxecto é que tampouco existe un acordo á hora de definir uns factores de emisión asociados a cada fonte enerxética empregada, senón que cada organismo escolle as súas propias, dando lugar a diferenzas nos resultados. Nalgún caso, detectouse que incluso empregan datos doutros países, inquiríndose deste xeito nunha situación peor, xa que cada país dispón dos seus propios procesos de produción e xeración, e presentan unha mestura enerxética diferente.

Este proxecto resolve esta carencia, xa que define uns factores específicos, recoñecidos e actualizados anualmente, para todas as fontes enerxéticas empregadas no noso territorio, favorecendo así, a unificación de criterios e a comparación de resultados.

O sector da construción en España ten moito que avanzar en materia ambiental, xa que está dentro do grupo dos principais consumidores de recursos naturais e produtores de contaminación. Centrarse só na redución das emisións durante o período de uso, non se presenta como unha estratexia viable a longo prazo, xa que unha vez mellorada a eficiencia enerxética dos edificios, a construción dos mesmos será o punto de maior impacto de todo o ciclo de vida. Isto implica que o proceso construtivo é un dos elementos clave á hora de reducir o impacto dos mesmos, e levar a cabo a análise da enerxía incorporada nestes procesos e intentar reducila ao máximo, repercutirá na obtención de edificios cunha pegada ecolóxica moi reducida.

Avanzar cara a consecución de edificios autosuficientes e que presenten un impacto no medio reducido, debe ser o obxectivo a lograr na actualidade. O estudo da enerxía e do carbono incorporados nos mesmos, é unha das alternativas que contribuirá a conseguir ditos obxectivos, chegando a converterse nun dos sectores máis sostibles.

12 BIBLIOGRAFÍA

A continuación enuméranse as distintas fontes bibliográficas (artigos, teses, proxectos, investigacións...) e informáticas (páxinas web) consultadas durante a elaboración deste traballo fin de mestrado.

12.1. ARTIGOS

- ACQUAYE, A.A., DUFFY, A.P. e BASU, B., (2011). “Stochastic hybrid embodied CO₂-eq analysis: An application to the Irish apartment building sector”. *Energy and Buildings*, 43(6), pp. 1295-1303.
- ARGUELLO MÉNDEZ, T.R. e CUCHÍ BURGOS, A., (2008). “Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10 con Techo-Chiapas”. *Informes de la construcción*. 60, pp. 25-34.
- CAMPBELL, E., (2013). “Response to embodied energy and energy analyses of a concentrating solar power (CSP) system” (2012). *Energy Policy*, 60, pp. 424-426.
- CEPEDA GUTIÉRREZ, M. e MARDARAS LARRAÑAGA, I., (2003). “Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización”. *Conarquitectura*, pp. 66-80.
- MONCASTER, A.M. e SONG, J., (2012). “A comparative review of existing data and methodologies for calculating embodied energy and carbon of buildings”. *International journal of sustainable building technology & urban development*, 3(1), pp. 26-36.
- MONCASTER, A.M. e SYMONS, K.E., (2013). “A method and tool for 'cradle to grave' embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards”. *Energy and Buildings*, 66, pp. 514-523.
- NERI, E., RUGANI, B., BENETTO, E. e BASTIANONI, S., (2014). “Energy evaluation vs. life cycle-based embodied energy (solar, tidal and geothermal) of wood biomass resources”. *Ecological Indicators*, 36, pp. 419-430.
- RAUF, A. e CRAWFORD, R.H., (2013). “The relationship between material service life and the life cycle energy of contemporary residential buildings in Australia”. *Architectural Science Review*, 56(3), pp. 252-261.
- ROBERTSON, A.B., LAM, F.C.F. e COLE, R.J., (2012). “A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of mid-rise office building construction alternatives: laminated timber or reinforced concrete”. *Buildings: an open access journal for the built environment*, 2(3), pp. 245-270.

- SANSOM, R. e POPE, R.J., (2012). “A comparative embodied carbon assessment of commercial buildings”. *The structural engineer*, pp. 38-49.
- SCHOOF, J., (2011). “Embodied energy: all just dry theory? Life-cycle analysis of buildings”. *Detail green (English ed.)*, (2), pp. 8-9.
- STEPHAN, A. e CRAWFORD, R.H., (2013). “A multi-scale life-cycle energy and greenhouse-gas emissions analysis model for residential buildings”. *Architectural Science Review*, .
- STEPHAN, A., CRAWFORD, R.H. e DE MYTTENAERE, K., (2013). “A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses”. *Applied Energy*, 112, pp. 23-34.

12.2. LIBROS, INFORMES E TESES

- BRAGUE PÉREZ, A., (2012). “Comparativa de consumo de recursos en viviendas unifamiliares, Embodied energy”. Universidade de A Coruña.
- CASAÑAS, V., (2011). “La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos conformados a partir de materiales de producción nacional”. UDELAR.
- CUADRADO ROJO, J., (2008). “Establecimiento de una metodología general para la medida de la sostenibilidad en el ciclo de vida de los edificios industriales”. Universidad del País Vasco.
- DÍAZ RUBIO, R., (2011). “Repercusión medioambiental del uso de la cerámica estructural en España. Energía embebida y emisiones de CO₂”. Universidad Politécnica de Madrid.
- HAMMOND, G. e JONES, C. (2011). “Inventory of carbon and energy”. University of Bath.
- IHOBE, (2005). “Guía técnica para la estimación y cálculo de las emisiones al aire”. Gobierno Vasco.
- INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CATALUÑA, (2014). “Guía de criterios BEDEC”. ITEC.
- MARA MARA, T. (2009). “Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto”. IHOBE.
- MERCADER MOYANO, M.P., (2010). “Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO₂ producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto”. Universidad de Sevilla.
- MINISTERIO DE FOMENTO, (2014). “Observatorio de mercado del transporte de mercancías por carretera”. MFOM.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA E TURISMO, (2012). “La energía en España”. MINETUR.

- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÁTIC, (2012). “Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)”. OCCC.
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÁTIC, (2012). “Nota informativa sobre la metodología de estimación del mix eléctrico por parte de la oficina catalana del cambio climático”. OCCC.
- RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, (2013). “El sistema eléctrico español. Avance del informe 2013”. REE.
- SANTAMARTA FLÓREZ, J. e ASUNCIÓN HIGUERAS, M., (2013). “Informe de emisiones de gases de efecto invernadero en España 1990-2012”. WWF.
- WORLD WILDLIFE FUTURE, (2013). “Observatorio de la electricidad año 2013”. WWF.
- ZABALZA BRIBIÁN, I., (2011). “Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España”. Universidad de Zaragoza.

12.3. REFERENCIAS INFORMÁTICAS

- CEPSCO, (2002): “La declaración medioambiental de productos de construcción, Situación actual y perspectivas futuras”.
http://www.cepco.es/noticia.asp?id_rep=312
- EL PAÍS, (2012): “España cumplirá Kioto con una compra de saldo de CO₂ polaco”.
http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/10/05/actualidad/1349453927_030128.html
- EOI, (2012): “Impactos medioambientales en construcción sostenible”.
http://www.eoi.es/wiki/index.php/Impactos_medioambientales_en_Construcci%C3%B3n_sostenible
- EOI, (2012): “Materiales de construcción en construcción sostenible”.
http://www.eoi.es/wiki/index.php/MATERIALES_DE_CONSTRUCCI%C3%93N_e_n_Construcci%C3%B3n_sostenible
- GREEN BUILDING RESOURCE, (2014): “Embodied energy”.
<http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/?§>
- GREEN HOUSE GAS PROTOCOL (2014): “GHG Protocol”.
<http://www.ghgprotocol.org/>

- IHOBE, (2014): “Análisis del ciclo de vida y huella de carbono”.
<http://www.ihobe.net/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=c5e31d77-0bba-401c-9b9a-f10a42dac57e>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, (2006): “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”.
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- SERVICIOS ENERGÉTICOS, (2013): “El mix energético de los cinco primeros consumidores europeos”.
<http://www.serviciosenergeticos.org/2013/03/el-mix-energetico-de-los-cinco-primeros.html>
- STEEL CONSTRUCTION, (2014): “Life cycle assessment and embodied carbon”.
http://www.steelconstruction.info/Life_cycle_assessment_and_embodied_carbon#What_is_embodied_carbon.3F
- SUSTAINABLE ENERGY RESEARCH TEAM, (2014): “Embodied energy and carbon”.
<http://www.bath.ac.uk/mech-eng/research/sert/>
- REE, (2014): “Balance diario de electricidad”.
<http://www.ree.es/es/actividades/balance-diario>
- WORLD WILDLIFE FUTURE, (2014): “Un seguimiento de nuestro consumo eléctrico”.
http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/nuestras_soluciones/energias_renovables/observatorio_de_la_electricidad/

12.4. PÁXINAS WEB

www.ghgprotocol.org

www.idae.es

www.inega.es

www.itec.es

www.fomento.gob.es

www.minetur.gob.es

www.ree.es

www.wwf.es

13 | **NORMATIVA**

A continuación recóllese as diferente normativa en vigor, que é de aplicación no noso territorio e que foi consultada durante a elaboración deste traballo fin de mestrado.

13.1. NORMATIVA

- DB HE 4: Documento básico HE de Ahorro de Energía Sección HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- DB HE 5: Documento básico HE de Ahorro de Energía Sección HE 5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.
- Plan de acción nacional de eficiencia energética en España 2011-2020. IDAE
- UNE-EN ISO 14044:2006. “Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices”.
- UNE-EN ISO 14044:2006. “Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices”.
- UNE-EN ISO 14025:2006. “Etiquetas y declaraciones ambientales”. Declaraciones tipo III. Principios y procedimientos”.
- UNE-EN ISO 14040:2006. “Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia”.
- UNE-EN ISO 14044:2006. “Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices”.
- UNE-EN ISO 14064:2012. “Gases de efecto invernadero. Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero”.

14 ÍNDICE DE FIGURAS E ECUACIONES

- **Figura 1.1:** Aforros de enerxía final no sector da edificación e distribución porcentual.
- **Figura 1.2:** Evolución das emisións de gases de efecto invernadoiro en España.
- **Figura 3.1:** Definición da estrutura do proxecto.
- **Figura 4.1:** Impactos ambientais producidos durante o ciclo de vida dos produtos de construción.
- **Figura 4.2:** Comparativa de enerxía e carbono incorporados de distintos materiais de construción.
- **Figura 4.3:** Balance enerxético de produción eléctrica en España.
- **Figura 5.1:** Enerxía incorporada en distintos materiais de construción (MJ/Kg).
- **Figura 5.2:** Análise do consumo enerxético por capítulos.
- **Figura 5.3:** Análise do consumo enerxético por tipoloxía construtiva.
- **Figura 5.4:** Potencial de quentamento global dos GEI.
- **Figura 5.5:** Ámbitos de medición das emisións de CO₂.
- **Figura 6.1:** Exemplos de materiais incluídos no “Inventory of Carbon & Energy”.
- **Figura 6.2:** Enerxía e carbono incorporados dun piar de formigón armado.
- **Figura 6.3:** Ferramentas de cálculo do ACV.
- **Figura 7.1:** Fases analizadas no ACV.
- **Figura 7.2:** Categorias de impacto ambiental.
- **Figura 7.3:** Metodoloxías de cálculo dos impactos ambientais.
- **Figura 7.4:** Bases de datos aplicables á análise do ciclo de vida dos produtos.
- **Figura 7.5:** Metodoloxías de cálculo da pegada de carbono.
- **Figura 7.6:** Ferramentas de cálculo da pegada de carbono.
- **Figura 7.7:** Fases precisas para realizar o inventario de GEI nunha empresa.
- **Figura 8.1:** Etapas da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.
- **Figura 8.2:** Etapa de análise do proxecto da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.
- **Figura 8.3:** Etapa de recollida de datos da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.
- **Figura 8.4:** Etapa de seguimento da construción da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.
- **Figura 8.5:** Etapa de análise da vida útil da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.

- **Figura 8.6:** Etapa de análise da reciclaxe da metodoloxía de cálculo da enerxía incorporada.
 - **Figura 8.7:** Factores de emisión de enerxía.
 - **Figura 8.8:** Ciclo do carbono incorporado.
 - **Figura 8.9:** Factores de emisión de CO₂ por cada fonte enerxética.
 - **Figura 8.10:** Estrutura da xeración eléctrica en Galicia (%).
 - **Figura 8.11:** Estrutura da enerxía primaria en Galicia (%).
 - **Figura 8.12:** Mesturas eléctricas en diferentes países de Europa.
 - **Figura 8.13:** Factor de emisión de CO₂ para a electricidade.
 - **Figura 8.14:** Factores de emisión de CO₂ por cada tipo de carbonato.
 - **Figura 9.1:** Pestana de fabricación dos produtos de construción.
 - **Figura 9.2:** Extracto da pestana de transporte a obra dos produtos de construción.
 - **Figura 9.3:** Extracto da pestana de construción.
 - **Figura 9.4:** Extracto da pestana de vida útil.
 - **Figura 9.5:** Pestana correspondente ao proceso de demolición.
 - **Figura 10.1:** Datos de fabricación de ladrillo oco.
 - **Figura 10.2:** Datos de fabricación de ladrillo perforado de dimensións 9 – 7.
 - **Figura 10.3:** Datos de fabricación de ladrillo perforado de dimensións 10.
 - **Figura 10.4:** Datos de fabricación de ladrillo perforado cara vista.
 - **Figura 10.5:** Datos de fabricación de bloque cerámico de termoaxila.
 - **Figura 10.6:** Datos de fabricación de tella cerámica.
 - **Figura 10.7:** Análise do ciclo de vida do ladrillo cerámico.
 - **Figura 10.8:** Resultados finais de enerxía e carbono incorporados no ladrillo cerámico.
 - **Figura 10.9:** Comparativa de factores de impacto do ladrillo oco.
-
- **Ecuación 1:** Factores de emisión enerxéticos.
 - **Ecuación 2:** Enerxía incorporada na fase construtiva.
 - **Ecuación 3:** Enerxía incorporada asociada ao período de uso das edificacións.
 - **Ecuación 4:** Enerxía incorporada durante o período de demolición e reciclaxe.
 - **Ecuación 5:** Enerxía incorporada total.
 - **Ecuación 6:** Carbono incorporado total.
 - **Ecuación 7:** Carbono incorporado por procesos de combustión segundo normativa.
 - **Ecuación 8:** Carbono incorporado por procesos de combustión desenvolvida.
 - **Ecuación 9:** Carbono incorporado debido ás emisións de proceso.