

# As enerxías renovables



Maite de Castro  
Xurxo Costoya



**Esenciais**

Breviarios de divulgación do saber

Maite de Castro



Maite de Castro, Doutora en Física pola Universidade de Santiago de Compostela, na actualidade é profesora titular da Universidade de Vigo onde desenvolve a súa actividade investigadora no grupo EphysLab. Na actualidade, a súa investigación céntrase no estudo do efecto do cambio climático no medio mariño e os seus recursos naturais. Ten 100 publicacións internacionais en revistas científicas do SCI e participou en 39 proxectos internacionais, nacionais e rexionais. Dirixiu 7 Teses doutorais, foi coordinadora do Máster Universitario en Ciencias do Clima: Meteoroloxía, Oceanografía Física e Cambio Climático e secretaria da Facultade de Ciencias de Ourense. É editora de varias revistas científicas internacionais.

Xurxo Costoya

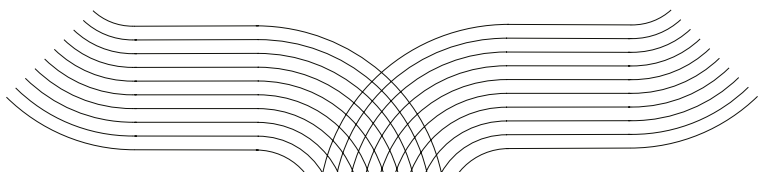


Xurxo Costoya, Doutor en Física Aplicada pola Universidade de Vigo, onde cursou o doutorado no grupo de investigación EphysLab. Na súa etapa posdoutoral, formou parte do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro (Portugal) e, na actualidade, desenvolve a súa investigación na Universidade de Santiago de Compostela dentro do Grupo de Física Non Lineal, pertencente ó Instituto CRETUS. A súa liña de investigación céntrase en analizar o impacto que o cambio climático ten sobre a produción enerxética de diferentes enerxías renovables, centrándose especialmente na enerxía eólica. Conta con máis de 20 publicacións en revistas científicas internacionais.

Servizo de Publicacións

---

Universidade de Vigo



# Esenciais

Breviarios de divulgación do saber

n.º 02

## Edición

Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo  
Edificio da Biblioteca Central  
Campus de Vigo, 36310

## Director da colección

Jorge Luis Bueno Alonso

## Consello asesor científico da colección

Marta Garcia Gonzalez, Benigno Fernandez Salgado, Enrique J. Varela. Ignacio Perez Juste, Marta Perez Rodriguez, Ana Maria Bernabeu Tello

## Deseño e coordinación da imaxe da colección

Ana Soler Baena

## Diseño gráfico

Área de Imaxe da Universidade de Vigo  
Vicerreitoría de Comunicación e Relacións Institucionais

## Fotografía de portada

Foto de Elias Maurers en Unsplash

## Maquetación e Impresión

Andavira Editora, S. L.

## ISBN

978-84-8158-873-6

## DL

VG 535-2020

© Servizo de publicacións da Universidade de Vigo, 2020

© Maite de Castro e Xurxo Costoya

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluídos fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación sen o permiso escrito do Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo.

Esta editorial é membro da **une**, o que garante a difusión e a comercialización das súas publicacións a nivel nacional e internacional.

Servizo de Publicacións

---

Universidade de Vigo

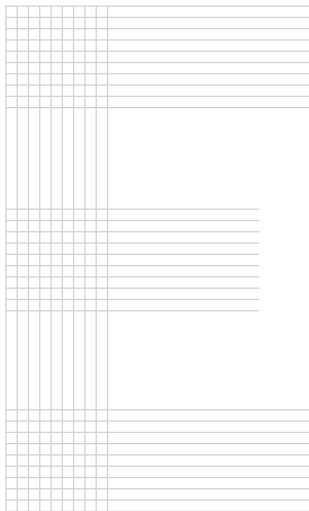




## Esenciais

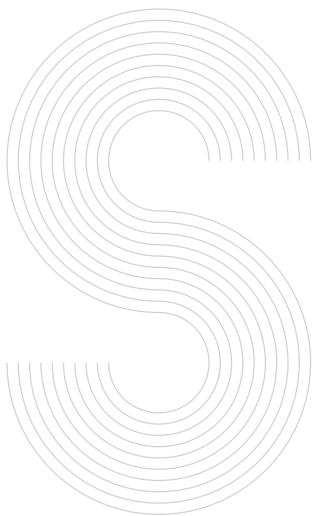
Breviarios de divulgación do saber

Esta colección pretende ofrecer ao público xeral unha serie de pequenas e concisas introduccións aos temas básicos do coñecemento das mans daqueles expertos que ten a Uvigo capaces de sintetizar dun xeito rigoroso, mais sinxelo e divulgativo, as discusións centrais dos temas xerais dun eido concreto. Unha combinación que presenta feitos, análise, novas ideas e aspectos esenciais. Independentemente da área de estudo, e do concepto a definir, a serie presentará libros de pequeno formato ós que poidan achegarse os lectores, tanto especializados coma non especializados, para ter un primeiro contacto informado e ameno cos temas que nos preocupan.



# As enerxías renovables

Maite de Castro  
Xurxo Costoya



# Índice

## Capítulo 1

<b>As enerxías renovables</b> .....	11
1.1. Enerxía e recursos naturais .....	11
1.2. Clasificación da enerxía .....	13
1.3. Importancia das enerxías renovables .....	13
1.4. Uso da enerxía .....	14
1.5. Situación das enerxías renovables en España .....	15

## Capítulo 2

<b>A enerxía solar</b> .....	17
2.1. De onde se obtén a enerxía? .....	17
2.2 Clasificación e usos .....	17
2.2.1. Enerxía solar fotovoltaica .....	17
2.2.2. Enerxía térmica solar .....	18
2.3. Tecnoloxías .....	19
2.3.1. Celas fotovoltaicas .....	19
2.3.2. Centrais térmicas solares .....	20
2.3.3. Colectores solares térmicos .....	24
2.4. Lugares máis axeitados para instalar esta enerxía .....	25
2.5. Vantaxes e desvantaxes da enerxía solar .....	27

## Capítulo 3

<b>A enerxía eólica</b> .....	29
3.1. De onde se obtén a enerxía? .....	29
3.2. Tipos de tecnoloxías .....	29



3.2.1. Aeroxerador .....	31
3.2.2. Turbinas de tres pas horizontais .....	32
3.2.3. Turbinas de tres pas verticais.....	34
3.2.4. Cimentacións e amarres .....	34
<b>3.3. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. Vantaxes e desvantaxes dos parques eólicos no mar .....</b>	<b>38</b>

## Capítulo 4

<b>A enerxía hidráulica.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1. De onde se obtén a enerxía?.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2. Tipos de tecnoloxías .....</b>	<b>39</b>
4.2.1. Minihidráulicas .....	41
4.2.2. Plantas de desvío fluvial .....	42
4.2.3. Dispositivos de aproveitamento de enerxía cinética .....	42
4.2.4. Grandes hidráulicas .....	43
4.2.5. Comparativa entre grandes e minihidroeléctricas .....	43
<b>4.3. Tipos de turbinas .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía .....</b>	<b>46</b>

## Capítulo 5

<b>A enerxía das ondas .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1. De onde se obtén a enerxía?.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2. Tipos de tecnoloxías.....</b>	<b>51</b>
5.2.1. Atenuadores.....	52
5.2.2. Absorbedores superficiais puntuais .....	54
5.2.3. Convertedores de pa oscilante.....	54
5.2.4. Columna de auga oscilante .....	56

5.2.5. Dispositivos de rebasamento .....	58
5.2.6. Dispositivos de presión diferencial mergullados .....	58
5.2.7. Dispositivos de onda flexibles .....	61
5.2.8. Dispositivos de masa xiratoria .....	61
<b>5.3. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía.....</b>	<b>63</b>
<b>5.4. Vantaxes e desvantaxes da enerxía de onda .....</b>	<b>64</b>

## Capítulo 6

<b>A enerxía da marea .....</b>	<b>65</b>
6.1. De onde se obtén a enerxía?.....	65
6.2. Tipos de tecnoloxías.....	68
6.2.1. Tecnoloxías de fluxo de marea.....	68
6.2.2. Encoros de marea.....	72
6.3. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía.....	75
6.4. Vantaxes e desvantaxes da enerxía da marea .....	77

## Capítulo 7

<b>A enerxía xeotérmica .....</b>	<b>79</b>
7.1. De onde se obtén a enerxía?.....	79
7.2. Clasificación e usos .....	79
7.3. Tecnoloxías.....	81
7.3.1. Centrais xeotérmicas.....	81
7.3.2. Aproveitamentos mediante bomba de calor .....	83
7.3.3. Sistemas xeotérmicos estimulados .....	83
7.4. Lugares máis axeitados para instalar esta enerxía .....	85
7.5. Vantaxes e desvantaxes da enerxía xeotérmica .....	87

## Capítulo 8

<b>A enerxía de biomasa</b> .....	89
<b>8.1. De onde se obtén a enerxía?</b> .....	89
<b>8.2. Clasificación e usos</b> .....	90
8.2.1. Biomasa sólida .....	90
8.2.2. Biogás .....	91
8.2.3. Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos .....	93
8.2.4. Biocarburantes .....	93
<b>8.3. Tecnoloxías</b> .....	93
8.3.1. Procesos termoquímicos .....	94
8.3.2. Procesos bioquímicos .....	96
8.3.3. Procesos físico-químicos .....	97
<b>8.4. Lugares máis axeitados para instalar esta enerxía</b> .....	98
<b>8.5. Vantaxes e desvantaxes da enerxía a partir de biomasa</b> ..	101
Bibliografía consultada .....	103
Páxinas web consultadas .....	105



# Capítulo 1

## As enerxías renovables

### 1.1. Enerxía e recursos naturais

A **enerxía** é a capacidade que ten calquera corpo para realizar un traballo, xa sexa mecánico, xerando calor ou emitindo luz. Todos os corpos teñen enerxía debido a diversas propiedades como a súa composición química, masa, temperatura... A unidade de medida é o joule (J).

Existen distintos tipos de enerxía dependendo dos cambios que produce o traballo realizado. Así, temos a *enerxía mecánica*, relacionada coa posición (a enerxía potencial) e co movemento dos corpos (a enerxía cinética); a *enerxía interna*, asociada á temperatura de cada corpo; a *enerxía térmica*, asociada á cantidade de enerxía que pasa dun corpo máis quente a outro máis frío; a *enerxía química*, relacionada coa formación ou coa rotura de enlaces nas reaccións químicas; a *enerxía nuclear*, asociada á interacción entre átomos; a *enerxía eléctrica*, relacionada coa diferenza de potencial entre dous puntos dun condutor; e a *enerxía electromagnética*, asociada á presenza dun campo electromagnético (ondas electromagnéticas) xerado polo movemento de partículas eléctricas e magnéticas.

As principais propiedades da enerxía son as seguintes:

- A enerxía nin se crea nin se destrúe, senón que **se transforma** e durante esa transformación prodúcense as diferentes formas de enerxía.
- A enerxía **consérvase**, en calquera transformación nin se crea máis enerxía da que había nin desaparece enerxía, sempre se mantén.

- A enerxía **transfírese** duns corpos a outros de distintas maneiras, en forma de calor, luz (ondas) ou traballo mecánico.
- A enerxía **degrádase**, só unha parte da enerxía transformada é capaz de producir traballo, outra parte pérdese en forma de calor ou de ruído.

Os **recursos naturais** son calquera forma de materia ou de enerxía obtida de rexións da terra accesibles, como a cortiza, a hidrosfera, a atmosfera ou a biosfera; e proporcionanlle alimento, enerxía e materia prima á humanidade sen a intervención desta. O ser humano emprega e transforma estes recursos naturais para cubrir as necesidades fisiolóxicas, económicas e culturais tanto dos individuos coma das sociedades.

Estes recursos naturais pódense clasificar segundo a fonte de orixe en:

- Bióticos: proveñen da materia orgánica ou da súa descomposición.
- Abióticos: non proveñen da materia orgánica; por exemplo, o aire.

Segundo o seu estado de desenvolvemento en:

- Potenciais: recursos dispoñibles nunha rexión pero aínda sen explotar (por exemplo, por non existir a tecnoloxía adecuada).
- Actuais: recursos dispoñibles e que xa se están a explotar.
- Reservas: parte do recurso natural, cuxa explotación se deixa para o futuro.

E, finalmente, segundo a súa taxa de renovación en:

- Renovables: son os recursos explotados a unha velocidade máis lenta ca á da súa formación.
- Potencialmente renovables: os recursos que son renovables sempre e cando a súa xestión e explotación non supere a súa capacidade de rexeneración.
- Non renovables: os que se explotan a un ritmo superior ao da súa formación.

## 1.2. Clasificación da enerxía

A enerxía tamén se pode clasificar atendendo á súa taxa de renovación en enerxías renovables, potencialmente renovables e non renovables.

- As enerxías renovables ou potencialmente renovables proveñen da enerxía que chega ao noso planeta de forma continua como consecuencia da radiación solar ou da atracción gravitatoria da Lúa. Son enerxías capaces de rexenerarse de forma natural. Son, fundamentalmente, a enerxía eólica, hidráulica, solar, mariña (das ondas e da marea), da biomasa e xeotérmica.
- As enerxías non renovables son as que existen na natureza de xeito limitado. Non se renovan a curto prazo, é dicir, a súa taxa de explotación é maior ca a de rexeneración. A medida que estas reservas van esgotándose é máis difícil a súa extracción. Estas son, fundamentalmente, os combustibles fósiles e os minerais radioactivos.

Dende o punto de vista da utilización da enerxía esta pódese clasificar en:

- Primaria: a que se obtén directamente da natureza; por exemplo, carbón, gas natural, uranio ou enerxías renovables.
- Secundaria: obtense da transformación da enerxía primaria; por exemplo, a gasolina ou a electricidade.
- Útil: a que obtén o consumidor/a final; por exemplo, a enerxía mecánica producida por un motor ou a luz producida por unha lámpada.

## 1.3. Importancia das enerxías renovables

Todas as sociedades do planeta son consumidoras de enerxía e a maior parte desa enerxía provén de fontes non renovables, fundamentalmente da queima dos combustibles fósiles e da enerxía nuclear. O sistema enerxético actual é insostible nun par de xeracións por diversas razóns, entre as que destacan:

- O esgotamento das reservas de combustible fósiles.

- Que contribúe ao efecto invernadoiro, á chuvia ácida e á contaminación local.
- Que contribúe á deforestación.
- É un foco de inestabilidade internacional que pon en risco a paz mundial.

Hai múltiples factores que destacan a importancia das enerxías renovables. Un deles é que as enerxías renovables son fontes de enerxía inesgotables, xa que se obteñen dos recursos da natureza e normalmente pódese recorrer permanentemente a eles. Son, ademais, fontes de enerxía limpa, xa que non emiten gases de efecto invernadoiro (como o CO<sub>2</sub>) responsables do cambio climático nin emiten partículas contaminantes. Tamén son fontes de enerxía moi diversas que a diferenza doutras enerxías non renovables, como os combustibles fósiles, se atopan accesibles para ser explotadas en calquera parte do planeta. Isto permite diminuír a dependencia dun país da subministración externa e diminuír o risco dun abastecemento pouco diversificado. Finalmente, estas fontes de enerxía son cada vez máis competitivas e permiten o desenvolvemento de novas tecnoloxías e a creación de emprego.

Aínda que as vantaxes son con diferenza maiores ca as desvantaxes que presentan estas enerxías, é necesario ter tamén en conta que algúns tipos de enerxías renovables causan efectos negativos sobre o ecosistema; por exemplo, a enerxía xeotérmica pode traer á superficie sales e minerais tóxicos non desexados. Por outra parte, estas enerxías son irregulares, xa que dependen de elementos naturais e sempre que non se dan as condicións óptimas déixase de obter enerxía. Este problema pode resolverse coa existencia de medios que permitan almacenar enerxía e gardar tanta electricidade como demande a rede. Finalmente, cómpre comentar que non todas as rexións do planeta teñen os mesmos recursos naturais e, polo tanto, as cantidades de enerxía e os tipos variarán dunhas rexións a outras.

## 1.4. Uso da enerxía

O principal uso da enerxía no ámbito mundial é para a produción de electricidade e o transporte. En España, a produción de electricidade supón un 20 % do consumo de enerxía e o transporte, un 40 %, do cal



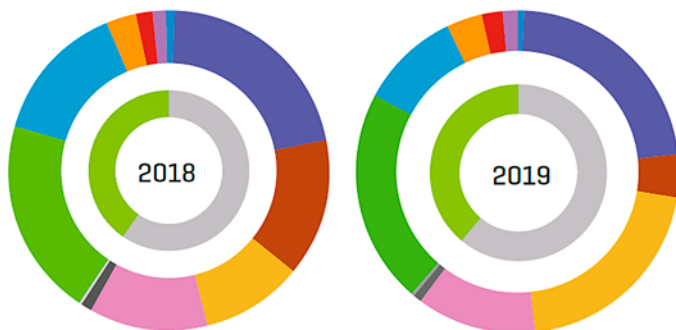
un 80 % deste consumo corresponde ao transporte por estrada. O sector do transporte é altamente dependente dos produtos derivados do petróleo (98 %), que representa a maior parte das importacións anuais de cru. Ademais, o transporte é responsable da cuarta parte das emisións de CO<sub>2</sub> totais de España. Por esta razón, os biocarburantes terán un papel fundamental na achega das enerxías renovables ao transporte para conseguir unha redución na dependencia enerxética, para axudar o cambio climático e para desenvolver o medio rural [Plan de enerxías renovables, elaborado polo Instituto para a Diversificación e Aforro da Enerxía (IDAE)]. Seguindo a Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeo e do Consello, do 23 de abril de 2009, o obxectivo xeral para a Unión Europea e para España, en particular, é conseguir unha cota mínima dun 10 % de enerxía procedente de fontes renovables para consumo de enerxía no sector do transporte e dun 20 % no consumo final bruto de enerxía para o ano 2020.

## **1.5. Situación das enerxías renovables en España**

O potencial das enerxías renovables en España é amplísimo e moi superior á demanda enerxética nacional e aos recursos enerxéticos de orixe fósil existentes. Esta é a principal conclusión á que se chegou no PER 2011-2020 tras numerosos estudos nos que se avaliou o potencial da maior parte das enerxías renovables. O potencial máis elevado é o da enerxía solar, cunha potencia eléctrica instalable de varios TW. En segundo lugar, está a enerxía eólica cun potencial do redor de 340 GW e séguelle o potencial hidráulico cuns 33 GW. O resto das tecnoloxías constitúen un potencial próximo a 50 GW, onde destacan as enerxías das ondas e a xeotermia cun potencial duns 20 GW en ambos os casos.

Ao redor do 39 % da xeración total de enerxía en España en 2019 foi de orixe renovable segundo o Informe do sistema eléctrico español elaborado pola Rede Eléctrica de España (REE) ([ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2019](http://ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2019)). Isto supón un lixeiro descenso en comparación co ano 2018 (40,1 %) (figura 1.1). O parque xerador de enerxía eléctrica en España aumentou en 2019 con 110226 MW de potencia instalados. A tecnoloxía renovable que máis contribuíu á cobertura da demanda eléctrica da península foi a eólica cun 21,5 %, seguido pola hidráulica (10 %) e a solar (5,7 %).

	2018	2019
TURBINACIÓN BOMBEO	0,8	0,7
NUCLEAR	21,5	22,6
CARBÓN	14,1	4,3
CICLO COMBINADO	10,7	20,7
COGENERACIÓN	11,7	12,0
RESIDUOS NO RENOVABLES	0,9	0,8
RESIDUOS RENOVABLES	0,3	0,3
EÓLICA	19,8	21,5
HIDRÁULICA	13,8	10,0
SOLAR FOTOVOLTAICA	3,0	3,6
SOLAR TÉRMICA	1,8	2,1
OTRAS RENOVABLES	1,4	1,5



	2018	2019
RENOVABLES	40,2	38,9
NO RENOVABLES	59,8	61,1

Figura 1.1. Estrutura da xeración de electricidade na España peninsular durante os anos 2018 e 2019. Fonte: Rede Eléctrica Española (REE)

## Capítulo 2

# A enerxía solar

### 2.1. De onde se obtén a enerxía?

A enerxía solar refírese ao aproveitamento da enerxía que chega á superficie terrestre en forma de radiación electromagnética dende o Sol. En termo medio, a cantidade de radiación que recibe o noso planeta por unidade de tempo e superficie dende o Sol estímase nuns  $1361 \text{ W/m}^2$ . Este valor coñécese como constante solar e é aplicable unicamente á zona ecuatorial, onde os raios inciden perpendicularmente, e é un valor menor no resto do planeta, onde alcanza o mínimo nas áreas polares. Así, tendo en conta a curvatura da Terra, o valor medio que chega á parte externa da atmosfera terrestre estímase nuns  $341 \text{ W/m}^2$ . Unha parte desta enerxía pérdese por interacción coas nubes e cos aerosois atmosféricos. Así, a cantidade de enerxía media que chega finalmente á superficie terrestre é duns  $240 \text{ W/m}^2$ .

### 2.2 Clasificación e usos

A enerxía solar pode dividirse en dous grandes tipos atendendo ao sistema de aproveitamento da radiación solar incidente: enerxía solar fotovoltaica e enerxía solar térmica.

#### 2.2.1. Enerxía solar fotovoltaica

A enerxía solar fotovoltaica, tamén chamada enerxía fotoeléctrica, consiste no uso de células fotovoltaicas capaces de transformar a enerxía electromagnética da luz solar en enerxía eléctrica grazas ao efecto fotoeléctrico. De forma breve, este efecto dáse cando os fotóns, partículas elementais que compoñen a luz, inciden sobre a superficie

dun metal e transmítenlle a súa enerxía a un electrón, liberándoo do enlace atómico. Cando estes electróns libres son capturados xérase unha corrente eléctrica. Para que os electróns se poidan liberar, os fotóns precisan ter unha determinada enerxía que vén condicionada pola frecuencia da onda de luz. A frecuencia mínima necesaria coñécese como frecuencia limiar e varía moito dependendo do material. No caso dos paneis solares, que son o resultado de agrupar moitas células fotovoltaicas, o material empregado normalmente é o silicio.

Unha gran vantaxe da enerxía solar fotovoltaica é que permite producir enerxía eléctrica en zonas illadas onde non chega a rede eléctrica. Entre os usos máis estendidos da enerxía solar fotovoltaica atopamos a subministración de enerxía en vivendas, casas de campo ou terreos privados, o que nalgún caso inclúe o seu uso específico para bombeo de auga, sistemas de regadío ou iluminación de invernadoiros ou granxas. Tamén conta con aplicacións na sinalización como pode ser a automatización dos faros ou o uso en sinais de balizas eléctricas e sinais de tráfico.

### **2.2.2. Enerxía térmica solar**

A enerxía térmica solar, tamén chamada termosolar, aproveita a enerxía do Sol para producir calor que, posteriormente, se pode empregar en diferentes usos. Neste caso o aproveitamento da enerxía que chega procedente do Sol faise empregando colectores, que son dispositivos deseñados para transformar esta enerxía en calor. Estes colectores, ou captadores solares, clasifícanse en colectores de baixa, media ou alta temperatura dependendo da temperatura que poden alcanzar, o cal condiciona a súa funcionalidade.

Considéranse de baixa temperatura as instalacións que provén calor útil a temperaturas menores de 65 °C. Así, a súa aplicación máis estendida é a produción de auga quente para o sector doméstico e de servizos, incluíndo o quentamento da auga das piscinas. Ademais, é frecuente o seu uso para calefacción por piso radiante, que require temperaturas que se poden acadar con captadores solares, ou en instalacións de aire acondicionado empregando máquinas de absorción.

A enerxía solar térmica de media temperatura emprégase en aplicacións que requiren temperaturas entre os 100 °C e os 250 °C. Para alcanzar estas temperaturas é preciso o uso de captadores que

empregan o baleiro para reducir as perdas de calor ou captadores que son capaces de concentrar a radiación nun só punto e, así, acadar temperaturas elevadas.

A enerxía solar térmica de alta temperatura é a que logra acadar temperaturas superiores aos 500 °C grazas a sistemas de concentración dos raios solares. Estas altas temperaturas permiten a xeración de electricidade grazas á xeración de vapor co que poder mover turbinas para producir enerxía eléctrica.

Por último, cómpre destacar tamén que existe un aproveitamento térmico da enerxía solar coñecido como enerxía solar pasiva, porque non precisa dun proceso de transformación enerxética. Así, é posible implementar deseños nas vivendas que potencien o aproveitamento natural da enerxía solar co propósito de capturar a calor no inverno e de disipala ao exterior no verán. Algúns exemplos concretos son o de orientar os balcóns e as ventás cara ao sur ou empregar paredes máis grosas e mellor illadas.

## **2.3. Tecnoloxías**

As tecnoloxías empregadas no aproveitamento do recurso solar varían notablemente dependendo de se o aproveitamento é de enerxía solar fotovoltaica ou de enerxía solar térmica. A continuación recóllese as tecnoloxías máis amplamente empregadas en cada caso.

### **2.3.1. Celas fotovoltaicas**

As células fotovoltaicas son o dispositivo básico co cal se produce enerxía eléctrica a partir dos fotóns da luz solar grazas ao efecto fotoeléctrico descrito anteriormente. Esta tecnoloxía atópase en continuo desenvolvemento co propósito de reducir o seu custo e incrementar a súa eficiencia. Cada unha das células fotovoltaicas están formadas por diferentes capas, cun espesor total entre os 0,25-0,35 mm, que teñen como propósito crear un campo eléctrico. Con esta finalidade emprégase un material semiconductor que normalmente é o silicio, debido á súa abundancia e baixo custo. Estímase que aproximadamente o 85 % das vendas do mercado mundial de células fotovoltaicas se fan con este material. Esta capa de silicio conta con dúas zonas: unha á que se lle engade unha pequena parte doutro material cun pequeno número de electróns de valencia (zona tipo  $n$  ou

negativa), como pode ser, por exemplo, o boro; e outra zona á que se lle engaden trazas de materias con maior cantidade de electróns no seu átomo como pode ser o fósforo (zona tipo  $p$  ou positiva). Desta forma, lógrase crear un campo eléctrico grazas á polarización desas dúas zonas da célula fotovoltaica. Normalmente a zona con exceso de electróns é a parte superior da cela.

Existen diferentes tipos de celas fotovoltaicas atendendo á disposición do silicio nelas:

- Celas de silicio monocristalino. Están formadas por un único cristal de silicio cunha estrutura moi uniforme. Este feito facilita a condutividade e incrementa a eficiencia, que pode chegar ata o 20 % neste tipo de celas, ao ser a máis alta dos tipos de celas que empregan silicio. A produción é máis complexa comparada co resto de celas, porque requiren unha maior cantidade de tempo e de enerxía.
- Celas de silicio policristalino. Estas células fábrícanse a través dun proceso de moldeamento que abarata a súa fabricación pero que ten como contrapartida unha menor eficiencia, que se estima entre o 8-12 %, debido a maiores imperfeccións na súa estrutura cristalina se se compara coas celas monocristalinas.
- Celas de capa fina. Estas son as celas que requiren un menor custo para a súa fabricación pero tamén as que contan cunha menor eficiencia, estimada entre o 6-9 %. Estas celas non teñen unha estrutura cristalina e a súa fabricación baséase en estender finas capas de material fotovoltaico sobre unha base cun substrato similar ao vidro. Neste caso, para crear un panel non é preciso ensamblar varias celas, xa que o material semiconductor de película delgada se estende monoliticamente. Ademais de silicio amorfo, existen outros materiais semicondutores que se poden empregar para crear este tipo de paneis: telururo de cadmio (CdTe), sulfuro de cadmio microcristalino (CdS), arseniuro de galio (GaAs), diselenuro de cobreindio (CIS) etc.

### 2.3.2. Centrais térmicas solares

Unha central térmica solar, ou termosolar, é unha instalación industrial onde se aproveita a radiación solar para quentar un fluído a altas temperaturas, entre os 300 e os 1.000 °C, co propósito de que o vapor

permita xerar a potencia suficiente para mover unha turbina e así producir enerxía eléctrica. Aínda que existen diferentes tipos de centrais térmicas solares, todas teñen en común que contan cunha serie de lentes ou espellos (reflectores) que son empregados para concentrar a radiación solar nunha pequena superficie (receptor) e lograr así a temperatura necesaria para producir vapor e transformar esa enerxía mecánica en electricidade. Dependendo da estrutura dos reflectores e do receptor pódense distinguir principalmente tres tipos de centrais termosolares:

### Central solar de torre central

Este tipo de centrais empregan un gran campo de espellos planos móbiles (heliostatos) que concentran a enerxía nun receptor situado na parte superior dunha torre. Estes espellos móvense tanto horizontal coma verticalmente para seguir a traxectoria solar, o que require un proceso complexo de automatización. No receptor emprégase un fluído para transferir a calor que normalmente é auga ou fluídos que poden conter sales de nitrato. As sales de nitrato teñen unha alta capacidade calorífica que permiten almacenar a enerxía e empregala para producir enerxía en momentos de baixa ou nula incidencia solar como poden ser as noites ou os días nubrados.



*Figura 2.1. Centrais solares de torre central localizadas en Sanlúcar la Mayor (Sevilla). Fonte: Wikimedia Commons baixo licenza cc-by-3.0*

## Sistemas de concentración lineal

A diferenza das centrais solares de torre, neste caso os espellos son longos e curvos e concentran a radiación sobre uns tubos localizados ao longo dos espellos (figura 2.2).

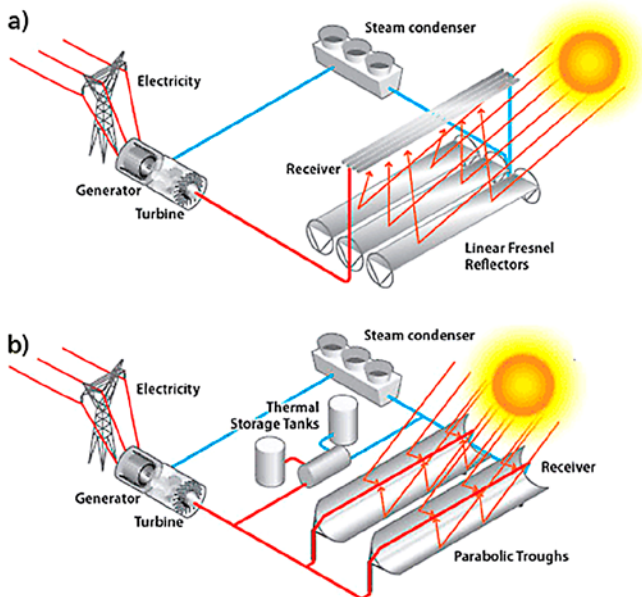


Figura 2.2. Esquema de funcionamento dos sistemas de concentración lineal: a) sistema de tipo Fresnel e b) sistema con concentradores parabólicos. Fonte: US Department of Energy

Existen dous tipos de sistemas de concentración lineal. Por un lado, un sistema baseado no uso de concentradores solares de cilindro parabólico (figura 2.2b), que son espellos que presentan forma cilindro parabólica e que contan cunha tubaxe que pasa polo foco da parábola, concentrando os raios solares sobre ela e alcanzando temperaturas aproximadas de 400 °C. O outro sistema baséase no uso de concentradores lineais de tipo Fresnel (figura 2.2a). Neste caso empréganse reflectores planos individuais de tipo Fresnel que se



dispoñen en longas ringleiras e serven para concentrar os raios solares sobre unhas tubaxes localizadas varios metros por riba dos reflectores. Ademais, adóitase colocar un espello secundario cilíndrico sobre estas tubaxes para recoller os raios que se desvían lixeiramente da traxectoria. A eficiencia térmica dos sistemas de tipo Fresnel é menor se se compara cos sistemas que empregan reflectores parabólicos pero teñen como vantaxe un menor custo de instalación e dos compoñentes.

### Sistema de motor solar de Stirling

Este sistema utiliza un prato ou un disco cóncavo parabólico, similar no seu aspecto a unha antena parabólica, cun motor térmico, normalmente do tipo Stirling. O prato contén pequenos espellos planos que concentran a radiación solar. A enerxía concentrada emprégase



*Figura 2.3. Disco solar con motor de tipo Stirling.*

*Fonte: Wikimedia Commons baixo licenza cc-by-sa-2.0*

en mover un motor que segue un ciclo de Stirling, caracterizado por un ciclo pechado de compresión e expansión dun gas que serve para mover uns pistóns e crear enerxía mecánica que pode ser transformada en electricidade. Estes sistemas de pratos solares están equipados para moverse seguindo a traxectoria do Sol.

### 2.3.3. Colectores solares térmicos

O aproveitamento da enerxía solar para producir calor faise empregando colectores. Estes poden empregarse para xerar calor con fins industriais ou residencias. Ademais, a través de bombas de calor é posible producir frío para a refrixeración de vivendas.

Un dos usos máis estendidos no aproveitamento térmico da enerxía solar é o de queentar auga para usos industriais e domésticos. Os colectores que se empregan maioritariamente nestes casos son colectores de capa plana, tamén chamados paneis solares térmicos. Estes dispositivos, que poden chegar a ter dous metros de longo, compóñense principalmente de tres capas, como se pode ver na figura 2.4.



*Figura 2.4. Colector de capa plana e depósito de auga instalados sobre unha terraza. Fonte: Wikimedia Commons baixo licenza cc-by-sa-3.0*

A máis externa é unha cuberta transparente que deixa pasar a enerxía solar e dificulta a súa saída producindo un efecto invernadoiro. Por baixo desta colócase unha placa metálica que absorbe a enerxía solar e se quenta. Esta placa leva unidos ou soldados unha serie de tubaxes que conteñen un fluído que se emprega como intercambiador entre a placa metálica e un depósito de auga. Finalmente, por baixo da placa metálica colócase unha capa de illamento para reducir as perdas de calor.

Existe outro tipo de panel solar térmico que emprega tubos sometidos ao baleiro para reducir as perdas por convección e conduction, e obter así mellores eficiencias que as que se teñen cos colectores planos, especialmente en condicións menos favorables como poden ser climas fríos. Este sistema baséase no que se coñece como tubo evacuado, que consta de dous tubos concéntricos entre os que se fai o baleiro. Na capa interior do tubo evacuado colócase unha capa de cor escura de material absorbente que axuda a transformar a radiación solar en calor para ser transmitida ao fluído co que contacta. Para formar os paneis empréganse varios tubos que se colocan paralelos uns aos outros.

## **2.4. Lugares máis axeitados para instalar esta enerxía**

Unha variable fundamental para coñecer que zonas da Terra son as máis axeitadas para o aproveitamento da enerxía solar é a irradiancia solar (figura 2.5), que é a magnitude que describe a radiación solar que chega á Terra por unidade de superficie. Desta forma, a irradiancia solar dámos unha idea clara das zonas nas que o recurso solar é maior. Na figura 2.5 pode verse que a zona ecuatorial e as áreas tropicais son as que contan cunha maior cantidade de radiación solar por unidade de superficie en termos anuais, destacando áreas desérticas como pode ser o deserto de Atacama en Chile, o Sáhara ou parte de Australia.

China é o país que en termos absolutos produce unha maior cantidade de enerxía eléctrica a través de sistemas solares, representando algo máis do 30 % do total de produción mundial. Os Estados Unidos e Xapón son os seguintes países con aproximadamente o 12 % e o 10 %, respectivamente. Se se analizan os datos de produción eléctrica a través de enerxía solar per cápita, os países líderes son Alemaña e Australia.

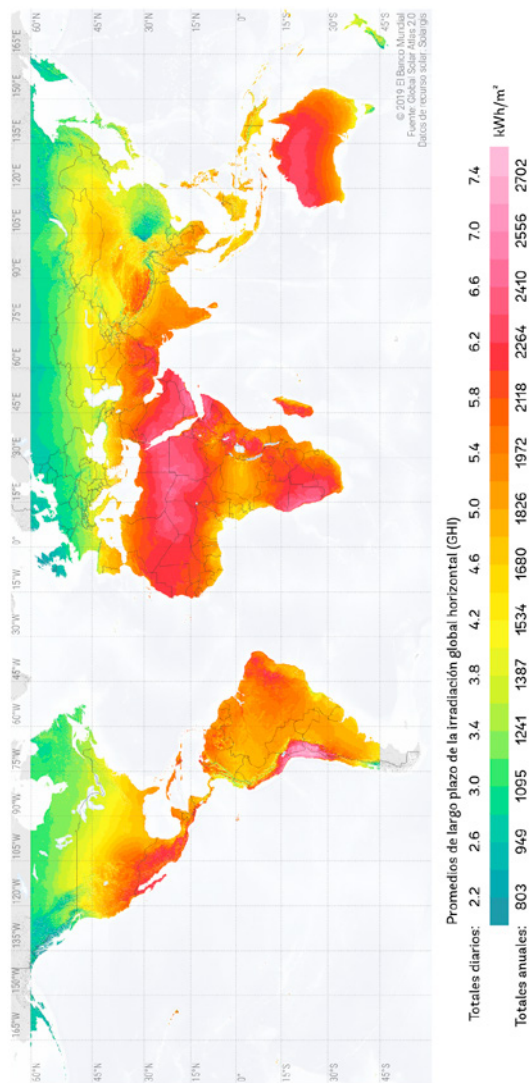


Figura 2.5. Mapa mundial de irradiancia ( $\text{kWh m}^{-2}$ ). Fuente: Global Solar Atlas 2.0 (licenza CC BY 4.0) elaborado con datos de Solargis

## 2.5. Vantaxes e desvantaxes da enerxía solar

Vantaxes:

- É unha enerxía independente que pode prover de electricidade vivendas ou servizos en zonas remotas non conectadas á rede eléctrica.
- Mantemento relativamente sinxelo e pouco custoso.
- Os sistemas fotovoltaicos e térmicos poden localizarse sobre construcións urbanas, teitos e vivendas, polo que o aproveitamento do espazo é maior.

Desvantaxes:

- Aínda que os raios do Sol chegan a todas as zonas da Terra, a inso-lación varía notablemente dunhas áreas a outras, condicionando a súa viabilidade.
- As plantas solares requiren dun espazo amplo para facelas viables.
- A fabricación de paneis fotovoltaicos produce residuos que son tóxicos.



# Capítulo 3

## A enerxía eólica

### 3.1. De onde se obtén a enerxía?

O vento prodúcese polo movemento do aire. Os ventos atmosféricos na Terra xéranse debido ao quecemento da superficie terrestre polo Sol e á rotación da Terra. O aire quente é menos denso e, polo tanto, máis lixeiro ca o aire frío polo que, nas rexións cálidas, o aire ascende mentres que, nas rexións frías, descende, e crea os ventos. A enerxía cinética transportada polos ventos pode ser aproveitada polos aeroxeradores e transformada en electricidade.

Hai diferentes factores chave que inflúen nesa transformación da enerxía:

- 1 A enerxía do vento aumenta coa altura na atmosfera terrestre, xa que se evitan perdas debido ao rozamento coa superficie terrestre ou coa auga.
- 2 Os ventos en alta mar son, en xeral, maiores ca en terra, xa que non hai obstáculos como árbores, acantilados ou montañas que interrompan o fluxo.

### 3.2. Tipos de tecnoloxías

Durante miles de anos empregouse a enerxía do vento para navegar a vela ou para moer o gran nos muiños de vento tradicionais. Non obstante, a pesar de que xa se desenvolveran modernas turbinas para xerar electricidade dende finais do século XIX, non é ata a década dos oitenta cando a tecnoloxía estivo o suficientemente madura como para que a industria eólica despegase. Dende a década dos setenta

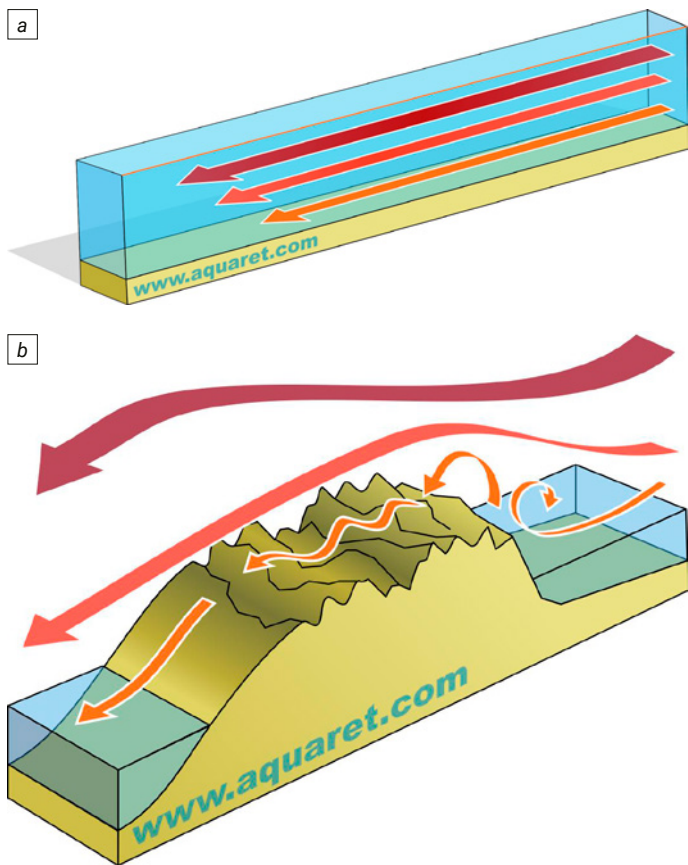


Figura 3.1 (a, b). Esquema dos factores que inflúen na transformación de enerxía eólica en electricidade. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

ata os noventa todos os parques eólicos instaláronse en terra por razóns económicas. No entanto, co aumento do tamaño das aspas e da eficiencia dos aerogeradores abaratáronse os custos e, a partir de finais dos anos noventa, comezáronse a instalar parques eólicos no mar do Norte.



### 3.2.1. Aeroxerador

Os parques eólicos están compostos por fileiras de aeroxeradores ou turbinas de aire. Os principais compoñentes dun aeroxerador están indicados na figura 3.2.

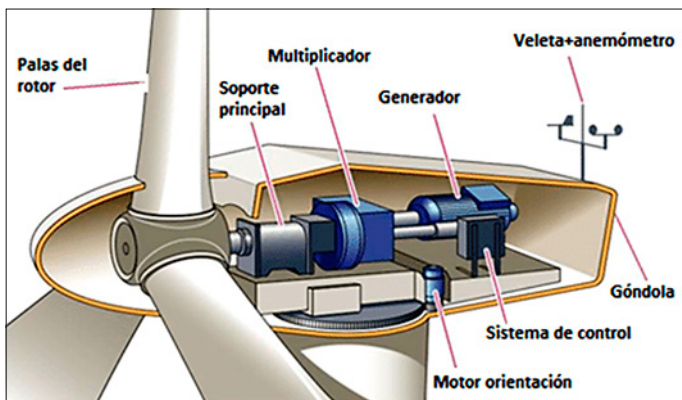


Figura 3.2. Esquema dos principais compoñentes dun aeroxerador. Figura 2 do sistema de control para aeroxeradores empregando a lóxica difusa de M. Bueno López publicado en DIGU100cia

O vento fai que o rotor xire o eixe principal que está conectado a un multiplicador que aumenta a velocidade de xiro do eixe. O multiplicador está despois conectado ao xerador que produce a electricidade. O xerador tamén dispón dun anemómetro para medir a velocidade do vento e regular a velocidade de xiro do rotor, e dun catavento que mide a orientación do vento para regular a orientación do rotor.

A curva característica de potencia dunha turbina baixo condicións de velocidade de vento constante amósase na figura 3.3.

Cando a velocidade do vento é inferior a  $3,5 \text{ ms}^{-1}$  ou superior a  $25 \text{ ms}^{-1}$ , o aeroxerador non se moverá. Por debaixo do límite inferior porque non hai enerxía cinética suficiente para xerar electricidade e por enriba do límite superior para preservar a integridade do aeroxerador. Entre os  $3,5 \text{ ms}^{-1}$  e os  $12\text{-}14 \text{ ms}^{-1}$  a potencia do aeroxerador aumenta

coa velocidade do vento ata alcanzar unha potencia máxima que mantén constante, aínda que a velocidade do vento aumente.

Tanto os aerogeradores coma os seus compoñentes están deseñados para que duren polo menos vinte anos.

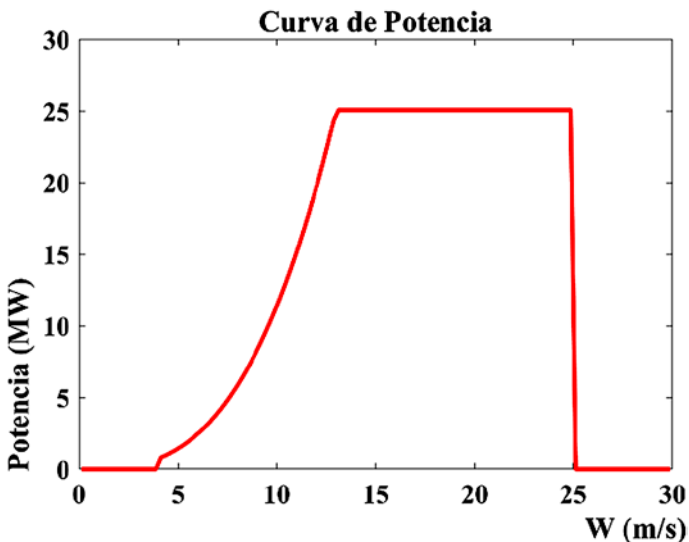


Figura. 3.3. Curva de potencia dun aerogerador baixo velocidades de vento constante

### 3.2.2. Turbinas de tres pas horizontais

O parque eólico está composto de fileiras de turbinas de tres pas dispostas en horizontal. A enerxía xerada por cada turbina está relacionada coa superficie da área barrida polas pas da turbina.

Estas turbinas horizontais pódense clasificar de formas diferentes dependendo do modo de operación da turbina. Hai turbinas coas pas orientadas cara ao vento e turbinas coas pas orientadas contra o vento. Nestas últimas o vento flúe dende a parte traseira da turbina cara ao rotor.



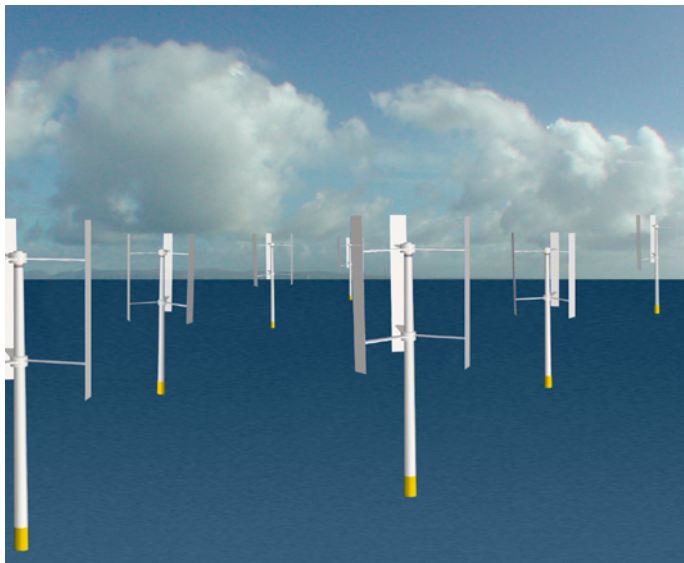
*Figura 3.4. Esquema dunha turbina de tres pas dispostas en horizontal. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

Estes aerogeradores tamén se poden clasificar segundo como estea regulada a súa potencia a altas velocidades do vento. Os aerogeradores regulados teñen un ángulo de paso constante da lámina do rotor que, a medida que aumenta a velocidade do vento, as pas van freando, regulando así a velocidade de rotación do rotor. Os aerogeradores regulados con paso, en lugar de ter un ángulo de rotor fixo, altera o ángulo para regular a potencia do aerogerador.

Na actualidade as turbinas empregadas en terra adoitan ter unha altura do eixe arredor de 90-100 m, un diámetro do rotor sobre 100 m e unha potencia media arredor de 3 MW. En canto ás turbinas empregadas no mar, adoitan ter unha altura do eixe sobre 120 m, un diámetro do rotor de ata 164 m e unha potencia media arredor de 7,8 MW (WindEurope, 2020a).

### 3.2.3. Turbinas de tres pas verticais

O parque eólico está composto de fileiras de turbinas de tres pas dispostas en vertical. Este tipo de deseño de turbina foi abandonado á metade dos anos noventa debido á súa escasa eficiencia aerodinámica, xa que o rango do ángulo de ataque entre o vento e as pas do rotor era moi grande.



*Figura 3.5. Esquema dunha turbina de tres pas dispostas en vertical. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

### 3.2.4. Cimentacións e amarres

A cimentación e o amarre dun aeroxerador é un tema moi complexo, xa que implican un amplo coñecemento no ámbito xeotécnico e xeofísico do solo ou do subsolo mariño, un amplo coñecemento do réxime de vento e dos distintos estados do mar (ondada e correntes) que teñen que soportar se están en alta mar. O proceso de cimentación e amarre é fundamental para o adecuado funcionamento e para a

durabilidade do aerogenerador. Ademais, este proceso representa aproximadamente un 6,5 % do custo total do proxecto dun parque en terra e dun 34 % en alta mar. Existen diferentes tipos de cimentacións e de amarres para os aerogeneradores que se colocan no mar dependendo da profundidade e dos estados do mar onde se vaia colocar o parque. A grandes profundidades estes aerogeneradores están flotantes. Na figura 3.6 amósase un exemplo dos deseños máis comúns de estruturas eólicas fixas e flotantes. De esquerda a dereita: monopila conducida, torre de chaqueta metálica, plataforma de perna de tensión, boia de mastro e semisomexible. O deseño xeotécnico e o comportamento destas estruturas é moi complexo debido ás altas cargas (terremotos, tifóns, tormentas, corrosión) que deben soportar.

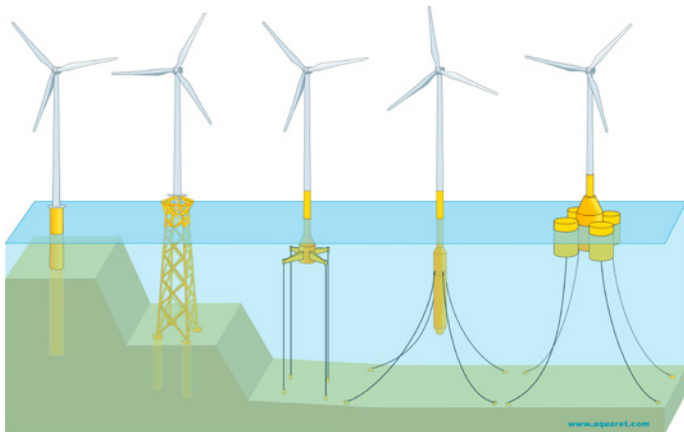


Figura 3.6. Deseños máis comúns de estruturas eólicas fixas e flotantes. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

### 3.3. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía

Os parques eólicos terrestres adoitan instalarse en cumios de montañas sen árbores e preto de comunidades que poidan consumir esa enerxía. Han de ser zonas onde o recurso do vento sexa alto e cumpra as condicións (dirección, temperatura e capacidade de xeración

máxima) que fagan que o parque sexa rendible, onde a orografía non sexa moi complexa e onde o impacto visual e medioambiental sexa o menor posible.

O recurso desta enerxía, que é o vento, é, xeralmente, máis laminar e constante en alta mar ca en terra, o que implica un maior aproveitamento do recurso. Dentro das localizacións no mar, esta enerxía é maior lonxe da costa. Non obstante, debido ás restricións tecnolóxicas para construír parques flotantes, a maioría dos aerogeradores en funcionamento están no mar do Norte, un mar pouco profundo. Tamén cómpre ter en conta que o custo de montaxe, mantemento e conexión do parque á rede eléctrica terrestre se encarece moito a medida que nos afastamos da costa.

Actualmente, Europa ten unha capacidade eólica de 170 GW, o que representa un 12,2 % da electricidade consumida en 2019 pola Unión Europea. De todos os países europeos, España foi o que máis instalou en 2019 con 2.2 GW novos parques eólicos en terra (WindEurope, 2020a). Ademais, Europa ten un total de 22 GW de capacidade eólica mariña en 2019 obtida de 5047 aerogeradores conectados á rede a través de 12 países (WindEurope, 2020b). Isto representa un 2,3 % da electricidade consumida pola Unión Europea en 2019. En total a enerxía eólica representa arredor dun 15 % da electricidade consumida.

En España a enerxía eólica ocupa o primeiro posto entre as enerxías renovables e representa un 46,8 % da capacidade de enerxía renovable instalada. A potencia instalada de enerxía eólica en terra na actualidade supera os 25700 MW e ten presenza en practicamente todas as comunidades, agás Madrid, Ceuta e Melilla. En total hai 1205 parques eólicos con 20940 aerogeradores instalados que cobren o 20,8 % do consumo eléctrico. As comunidades autónomas que instalaron máis enerxía eólica durante o ano 2019 foron Aragón (1102 MW), Castela e León (461 MW) e Galicia (416 MW) (Asociación Empresarial Eólica, AEE, [www.aeeolica.org/](http://www.aeeolica.org/)). Ademais, 2019 supuxo a estrea española na enerxía eólica mariña coa entrada en servizo do primeiro aerogerador en alta mar na illa de Gran Canaria cunha potencia de xeración de 5 MW.

2019 new onshore and offshore wind installations in Europe

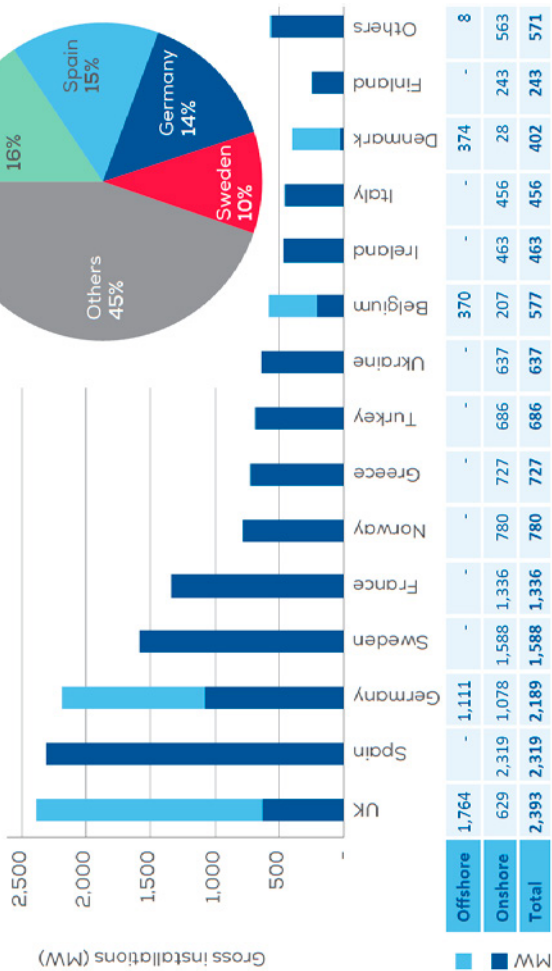


Figura 3.7. Novas instalacións eólicas instaladas en terra e en alta mar, expresadas en MW, en Europa en 2019. Imaxe obtida de WindEurope

### **3.4. Vantaxes e desvantaxes dos parques eólicos no mar**

Entre as vantaxes figuran:

- Un vento máis laminar e constante, que supón un mellor aproveitamento do recurso.
- Grandes extensións onde realizar instalacións sen limitacións de espazo.
- Menor impacto visual e acústico.
- Uso de turbinas máis grandes.

Entre as desvantaxes figuran:

- Maiores custos de instalación, mantemento e conexión á rede eléctrica terrestre.
- A tecnoloxía, sobre todo de estruturas flotantes, aínda non está madura para a súa instalación en rexións de profundidades maiores de 50-60 m.
- Menor accesibilidade á estación, sobre todo debido ao mal tempo.
- Han de compartir o espazo con outros usos do mar (pesca, transporte marítimo, usos militares, parques natura, áreas protexidas...).



## Capítulo 4

# A enerxía hidráulica

### 4.1. De onde se obtén a enerxía?

A enerxía hidráulica é unha enerxía derivada do ciclo hidrolóxico. A auga producida pola choiva e a neve, que cae nos cumios das montañas, viaxa cara ao mar a través dos ríos e dos regatos. A enerxía cinética e a enerxía potencial gravitacional producida polo descenso da auga é transformada en potencial eléctrico mediante diferentes tecnoloxías deseñadas para ser empregadas no caudal dos ríos.

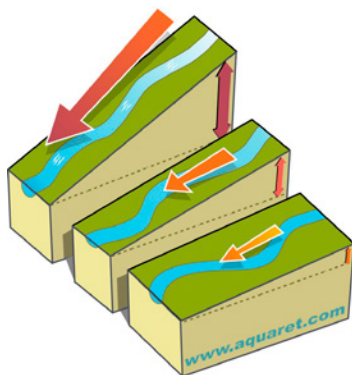
Hai diferentes factores chave que inflúen nesa transformación da enerxía:

1. Canto maior sexa a altura que descende o río no seu desprazamento cara ao mar, maior será a enerxía do fluxo de auga.
2. As maiores correntes están no centro e preto da superficie do río, onde non hai rozamento nin coas marxes nin co leito fluvial.
3. A medida que a auga flúe, acelérase ao redor do exterior das curvas do río.

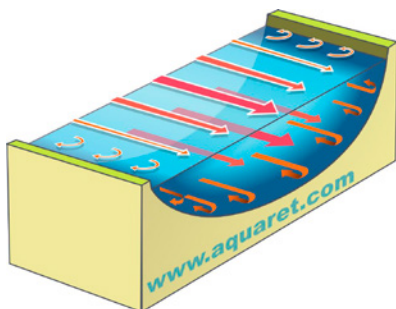
### 4.2. Tipos de tecnoloxías

Ao longo dos anos desenvolvéronse diferentes tecnoloxías para aproveitar esta enerxía hidráulica transportada pola auga fluíndo cara ao mar. As precursoras destas tecnoloxías foron as rodas de madeira que, movidas polo fluxo do río, se empregaban nos muiños para moer o gran. Ao longo do século xx deseñáronse turbinas máis eficientes que favoreceron a construción de numerosas plantas hidráulicas

a



b



c

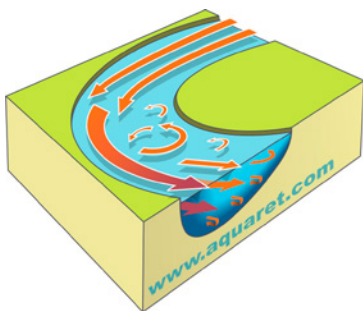


Figura 4.1 (a-c). Esquema dos factores que inflúen na transformación de enerxía hidráulica en electricidade. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

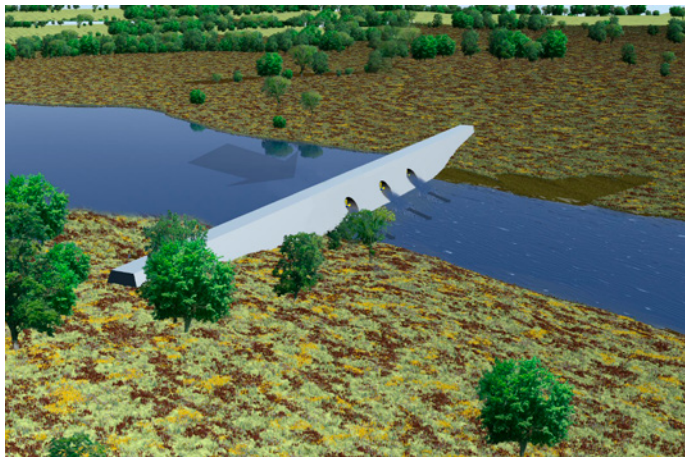
para producir electricidade. As tecnoloxías hidráulicas pódense agrupar nos seguintes tipos:

- Minihidráulicas
- Plantas de desvío fluvial
- Dispositivos de aproveitamento de enerxía cinética
- Grandes hidráulicas

#### 4.2.1. Minihidráulicas

Son plantas hidroeléctricas construídas no río nas que non hai un almacenamento de auga significativo. Estas plantas explotan o fluxo de auga creado por un pequeno encoro que permite que a auga flúa libremente.

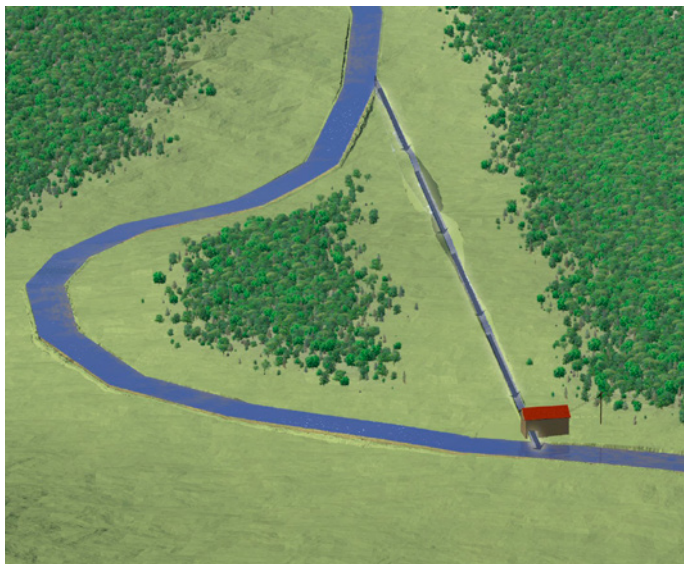
O río está encorado e crea un pequeno encoro onde se almacena auga (figura 4.2). A auga flúe a través de turbinas situadas na parede da presa e xera electricidade. Neste tipo de plantas hidráulicas o fluxo de auga de entrada e saída é o mesmo, a auga devólvese directamente ao río sen alterar o caudal ou os niveis de auga existentes.



*Figura 4.2. Esquema dunha planta minihidroeléctrica. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

### 4.2.2. Plantas de desvío fluvial

Estas plantas obteñen a enerxía desviando parte do caudal do río nunha rexión cun gradiente de altura suficiente (figura 4.3). Canalízase unha parte do caudal do río nunha cota superior para transportar a auga dende o río ata a entrada da planta, onde están as turbinas. A planta está situada a unha cota inferior, de tal forma que se explote o gradiente de altura o máximo posible. A auga é devolta ao río, río abaixo.



*Figura 4.3. Esquema dunha planta de desvío fluvial.  
Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

### 4.2.3. Dispositivos de aproveitamento de enerxía cinética

Son dispositivos que se colocan sobre o leito do río ou flotando na súa superficie e que extraen directamente a enerxía do fluxo de auga. Son similares aos empregados para extraer enerxía da marea nos océanos pero a menor escala.

#### 4.2.4. Grandes hidráulicas

Estas centrais empregan a enerxía potencial da auga retida nunha presa para mover unha turbina que activa un xerador eléctrico. A cantidade de enerxía obtida vai depender do salto de auga e do volume de auga fluíndo a través da turbina.

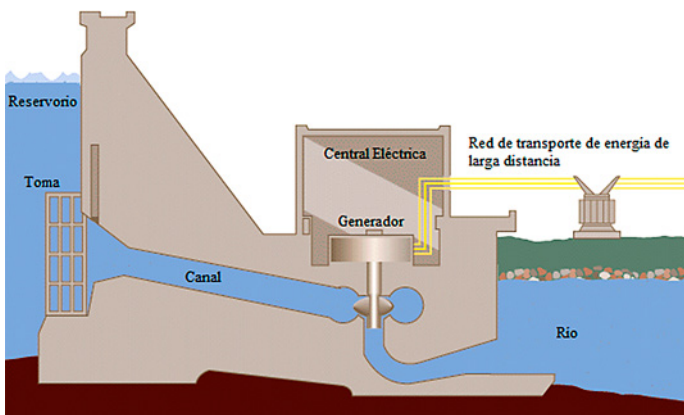


Figura 4.4. Esquema dunha planta hidroeléctrica. Dominio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php>

Tal e como se pode observar no esquema (figura 4.4), o salto de auga está conectado coa turbina a través dunha longa galería de presión que transporta a auga dende grandes alturas ata a turbina. Despois a enerxía mecánica da turbina alimenta un xerador de corrente eléctrica e a auga é devolta ao río.

#### 4.2.5. Comparativa entre grandes e minihidroeléctricas

As plantas minihidroeléctricas teñen tamaños que oscilan entre as decenas de kW nas micro e minihidroeléctricas ata varios MW nas plantas hidroeléctricas pequenas. Estas plantas son moi susceptibles a variacións no réxime de choivas estacional e incluso diario. Ademais, en moitas ocasións poden deixar de producir enerxía durante períodos de secas. A construción deste tipo de plantas adoitan ser de baixo custo, xa que son obras civís pequenas que teñen pouco

impacto medioambiental. Normalmente constrúense en áreas illadas fóra da rede eléctrica. Pola contra, as grandes hidroeléctricas son custosas obras civís que cambian o réxime do caudal do río, poden producir cambios na biodiversidade, a migración de peixes e en ocasión desprazamentos da poboación. Por outra parte, como aspectos beneficiosos pódese destacar que este tipo de hidroeléctricas regulan o caudal dos ríos evitando inundacións e poden favorecer o lecer e a práctica de deportes.

### 4.3. Tipos de turbinas

Todas as tecnoloxías descritas anteriormente teñen en común o uso de turbinas para transformar a enerxía transportada pola auga en electricidade. Converten a enerxía cinética ou potencial en enerxía mecánica por medio dun sistema de pas xiratorias. Esta enerxía mecánica emprégase normalmente para alimentar un xerador eléctrico. Estas turbinas pódense clasificar en dous tipos segundo a súa forma de funcionar: turbinas de impulso e de reacción.

As turbinas de impulso caracterízanse por funcionar parcialmente mergulladas cando o fluxo de auga cae de forma tanxencial. A turbina dispónse en vertical. Son unha evolución dos muíños de auga. Estas turbinas están deseñadas para traballar con saltos de auga moi grandes pero con pequenos caudais. A máis coñecida é a Pelton.

A turbina Pelton consiste nunha roda (rotor) con culleres na súa periferia (figura 4.5). Estas culleres están deseñadas para transformar a enerxía hidráulica dun chorro de auga que incide sobre elas. Grandes saltos de auga producen chorros de auga moi rápidos que inciden nas culleres e orixinan altas velocidades de rotación da turbina.

As turbinas de reacción caracterízanse por funcionar co rotor totalmente mergullado ou cerrado nunha carcasa para conter a presión da auga. Son de tipo axial, cunha pa de tipo hélice colocada ao final dun pau horizontal. Estas turbinas aproveitan tanto a velocidade coma a perda de presión da auga no interior da turbina. As máis coñecidas son a turbina Kaplan e a Francis.

A turbina Kaplan pode variar o ángulo e as pas da hélice durante o seu funcionamento adaptándose ás necesidades de potencia en cada

momento (figura 4.6). A auga circula no mesmo sentido do eixe. É a máis axeitada para saltos de auga pequenos e grandes caudais.



Figura 4.5. Exemplo de turbina Pelton. Imaxe obtida de [commons.wikimedia.org/wiki/](https://commons.wikimedia.org/wiki/), baixo a licenza Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International



Figura 4.6. Exemplo de turbina Kaplan. Imaxe obtida de [commons.wikimedia.org/wiki/](https://commons.wikimedia.org/wiki/), baixo a licenza Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International

A turbina Francis é unha turbina mixta que combina fluxos radial e axial (figura 4.7). O fluxo de auga entra na dirección radial, perpendicularmente ao eixe, e sae na dirección paralela ao eixe (mixto). É a máis axeitada para saltos de auga medios-altos e caudais medios e é capaz de producir potencias moi elevadas.



*Figura 4.7. Exemplo dunha turbina Francis. Imaxe obtida de [es.m.wikipedia.org/wiki/](https://es.m.wikipedia.org/wiki/), baixo a licenza Creative Commons Genérica de Atribución/Compartir-Igual 3.0*

Estes tipos de turbinas poden proporcionar unha eficiencia de ata o 95 %.

#### **4.4. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía**

Os lugares máis axeitados para instalar plantas hidráulicas son ríos con caudais estables e consistentes.

En xeral, as rexións máis axeitadas serán aquelas cunha caída da elevación do terreo adecuada, que teñan altas taxas de precipitación anual e con grandes cuncas fluviais dende onde a auga escorrerá cara ao río.



Este tipo de electrificación é economicamente competitiva para comunidades remotas de países tanto desenvolvidos coma en desenvolvemento.

A enerxía hidráulica ocupa o primeiro posto e representa o 44,7 % da capacidade enerxética renovable instalada en 2019 no mundo (International Renewable Energy Agency, IRENA). Con respecto a Europa, Noruega é o país europeo que máis enerxía hidráulica xera, xa que os accidentes xeográficos deste país favorecen os saltos de auga. No segundo lugar está Suecia, seguida de Francia. En canto a España, a enerxía hidráulica representa un 25,8 % da enerxía renovable e ocupa o segundo posto despois da enerxía eólica. No territorio español, aínda que a enerxía hidráulica está presente en todas as comunidades autónomas, agás Baleares, son cinco comunidades as que teñen o monopolio da enerxía hidráulica e concentran o 80 % da produción española: Castela e León (26 %), Galicia (22 %), Aragón, Cataluña e Extremadura.



# Capítulo 5

## A enerxía das ondas

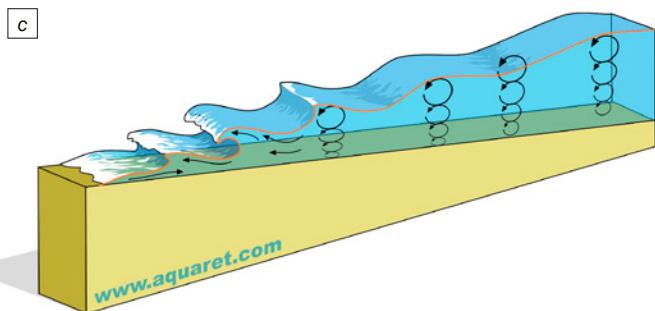
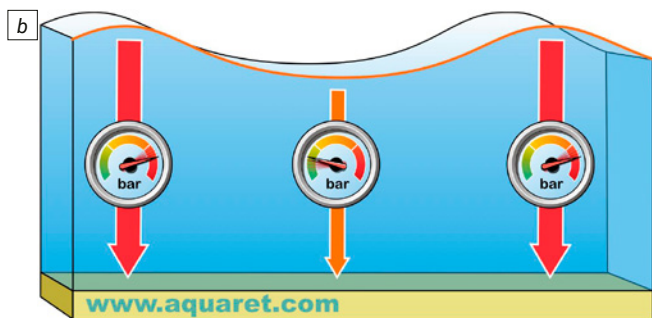
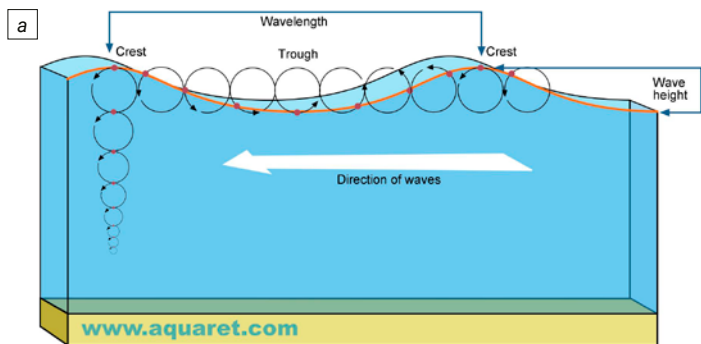
### 5.1. De onde se obtén a enerxía?

As ondas fórmanse preto da superficie do mar debido ao efecto do vento que sopra sobre a superficie da auga. O tamaño das ondas depende da velocidade do vento, da súa duración e da distancia de auga sobre a que sopra (*the fetch* en inglés).

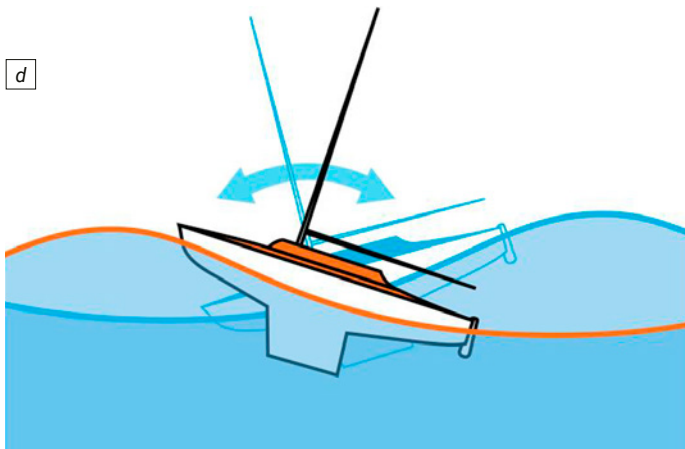
O movemento da auga (ondas) leva enerxía cinética que se pode capturar e transformar en electricidade mediante dispositivos de enerxía de onda.

Hai diferentes factores chave que inflúen nesa transformación da enerxía:

1. As ondas créanse pola circulación da auga preto da superficie que se disipa coa profundidade (figura 5.1, arriba á esquerda). Na auga profunda as moléculas de auga describen un movemento circular que se estende dende a superficie ata unha profundidade igual á metade da lonxitude de onda. Ademais, o diámetro dese movemento circular diminúe coa profundidade.
2. As ondas producen unha diferenza de presión na columna de auga (figura 5.1, arriba á dereita).
3. A enerxía das ondas diminúe a medida que se aproximan a augas pouco profundas debido á fricción co fondo do mar (figura 5.1, abaixo á esquerda).
4. Cando sucesivas fronteiras de onda pasan a través dun obxecto que está frotando en augas profundas, estes causan que o obxecto oscile permanecendo na mesma posición (figura 5.1, abaixo á dereita).



d



*Figura 5.1 (a- d). Esquema dos factores que inflúen na transformación de enerxía undimotriz en electricidade. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

## 5.2. Tipos de tecnoloxías

Ao longo das últimas décadas fíxose un grande esforzo por desenvolver a tecnoloxía que mellor aproveitase a enerxía das ondas. Como froito dese esforzo, desenvolvéronse diferentes tipos de dispositivos que capturan a enerxía das ondas. Non obstante, o potencial enerxético das ondas aínda non está completamente explotado, xa que nin a comunidade científica nin os enxeñeiros e enxeñeiras se puxeron de acordo en cal é o mellor tipo de convertedores de enerxía de onda. Os convertedores de enerxía de onda absorben a enerxía cinética da onda e transfórmana en electricidade a través dun xerador de potencia que pode ser, por exemplo, unha turbina ou un pistón.

Dende os anos setenta, véñense desenvolvendo diferentes tipos de convertedores de enerxía de onda sen que ata hoxe en día exista unha tecnoloxía líder no mercado. Estes dispositivos pódense clasificar de diferentes maneiras dependendo do lugar e da profundidade onde van operar (na liña de costa, preto da costa ou en alta mar), dependendo do tipo de impacto da onda (absorbedor puntual, atenuador, terminador ou totalizador) ou dependendo da maneira na que capturan a enerxía undimotriz (diferenzas de presión, corpos flotantes,

rebasamento e impacto). Os principais deseños de dispositivos de enerxía de onda pódense clasificar en:

1. Atenuadores
2. Absorbedores puntuais superficiais
3. Convertedores de pa oscilante
4. Columna de auga oscilante
5. Dispositivos de rebasamento
6. Dispositivos de presión diferencial mergullados
7. Dispositivos de onda flexibles
8. Dispositivos de masa xiratoria

Tras múltiples esforzos realizados para intentar determinar cal é a mellor tecnoloxía para captar enerxía das ondas, a principal conclusión é que depende das características do estado do mar en cada sitio.

### 5.2.1. Atenuadores

Son dispositivos flotantes aliñados perpendicularmente ás ondas. Captan a enerxía cinética das ondas mediante o movemento relativo de dous brazos a medida que a onda atravesa o dispositivo (figura 5.2).

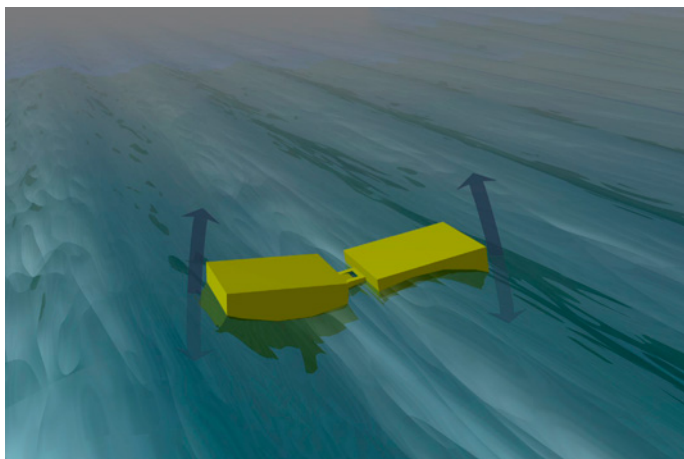


Figura 5.2. Esquema do funcionamento dun atenuador.  
Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

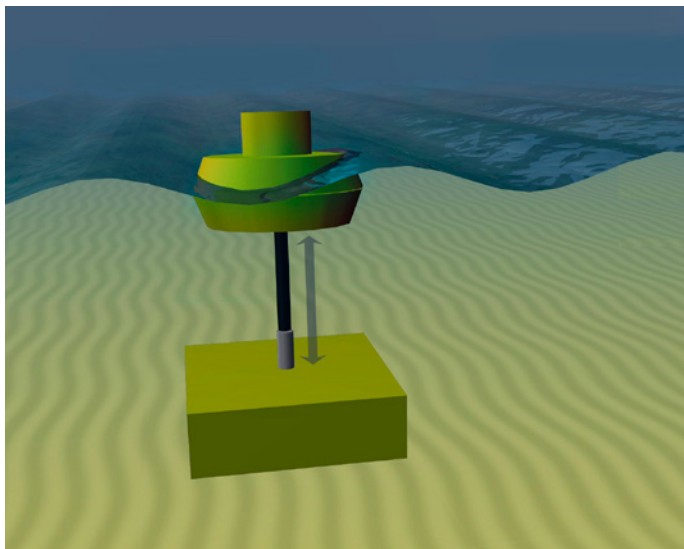
Un exemplo comercial deste tipo de dispositivo é o Pelamis (figura 5.3).



Figura 5.3 (a, b). Prototipo de Pelamis en Orkney, Escocia. Imaxe obtida por P123 de Public Domain, commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4859717, e de Public Domain, commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4859702

### 5.2.2. Absorbedores superficiais puntuais

Os absorbedores superficiais puntuais son estruturas flotantes que absorben a enerxía cinética da onda en todas as direccións grazas ao movemento dunha parte superior flotante en relación cunha base (figura 5.4).



*Figura 5.4. Esquema do funcionamento dun absorbedor superficial puntual. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

Estes dispositivos son de dimensións pequenas comparadas coa lonxitude da onda. Teñen diámetros duns poucos metros. Un exemplo comercial deste tipo de dispositivo é o amosado na figura 5.5.

### 5.2.3. Convertedores de pa oscilante

Estes dispositivos son colectores superficiais que consisten nun brazo que pivota preto do fondo mariño. Este brazo oscila como un péndulo invertido debido ao movemento das partículas de auga das ondas (figura 5.6).





Figura 5.5. Photo credit: Ocean Power Technologies. Imaxe obtida da páxina web de TETHYS ([tethys.pnnl.gov/technology/wave](http://tethys.pnnl.gov/technology/wave))

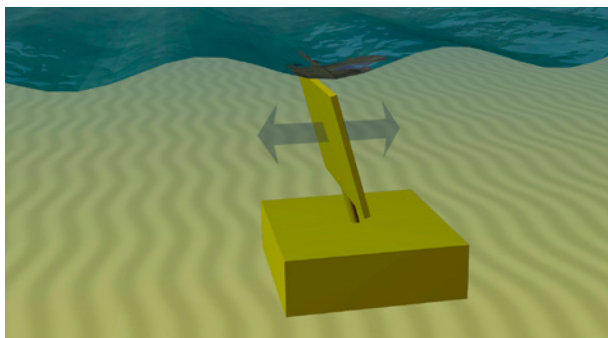
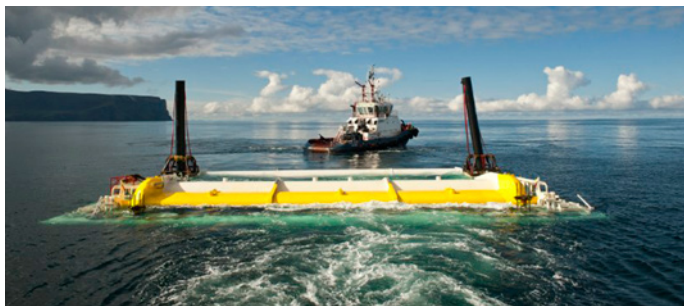


Figura 5.6. Esquema do funcionamento dun dispositivo de pa oscilante. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com)).

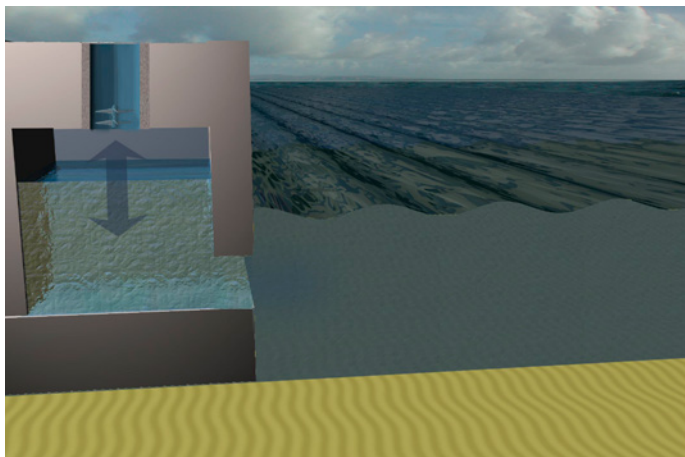
Na figura 5.7 móstrase un dispositivo que emprega este tipo de tecnoloxía.



*Figura 5.7 (a, b). Dispositivo de pa oscilante. Oyster desenvolvido por Aquamarine. Cortesía de Aquamarine Power ([www.aquamarine.com](http://www.aquamarine.com)). Imaxe obtida de [tethys-engineering.pnnl.gov/technology/oscillating-wave-surge](http://tethys-engineering.pnnl.gov/technology/oscillating-wave-surge)*

#### 5.2.4. Columna de auga oscilante

Estes dispositivos converten a subida e a baixada das ondas nun movemento de aire que flúe dentro dunhas turbinas para xerar electricidade (figure 5.8).



*Figura 5.8. Esquema do funcionamento dun dispositivo de columna de auga oscilante. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

Son estruturas ocas parcialmente mergulladas que están abertas ao mar por debaixo da superficie, de tal maneira que conteñen aire atrapado por enriba da columna de auga. As ondas fan que a columna de auga suba e baixe como un pistón comprimindo e descomprimindo o aire. Este aire é canalizado cara a unha turbina para producir electricidade.

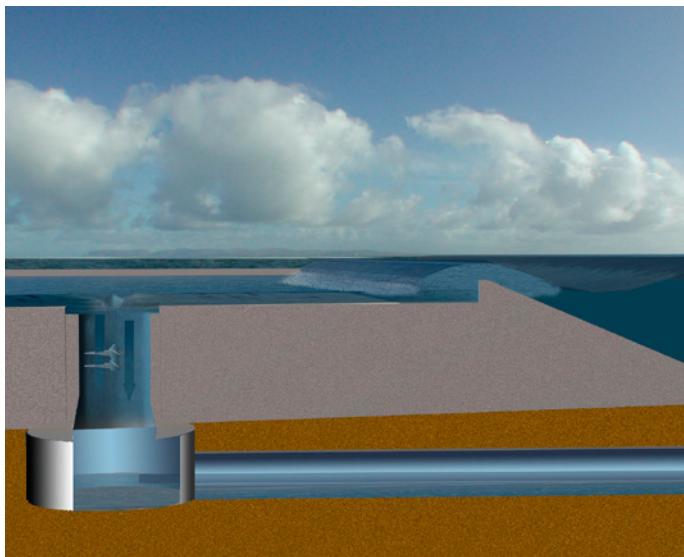
Un exemplo de planta enerxética composta por este tipo de dispositivos é a de Mutriku (Euskadi) que se amosa na figura 5.9.



*Figura 5.9. Planta de enerxía de Mutriku (Euskadi)*

### 5.2.5. Dispositivos de rebasamento

Estes dispositivos teñen unha parede sobre a cal rompen as ondas entrando a auga nun depósito de almacenamento, o que produce unha carga de auga. Esta auga almacenada devólvese despois ao mar a través dunha turbina situada no fondo do depósito (figura 5.10).



*Figura 5.10. Esquema do funcionamento dun dispositivo de rebasamento. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

A figura 5.11 amosa unha imaxe dun dispositivo de rebasamento chamado Wave Dragon e na figura 5.12 amósase un parque de Wave Dragons.

### 5.2.6. Dispositivos de presión diferencial mergullados

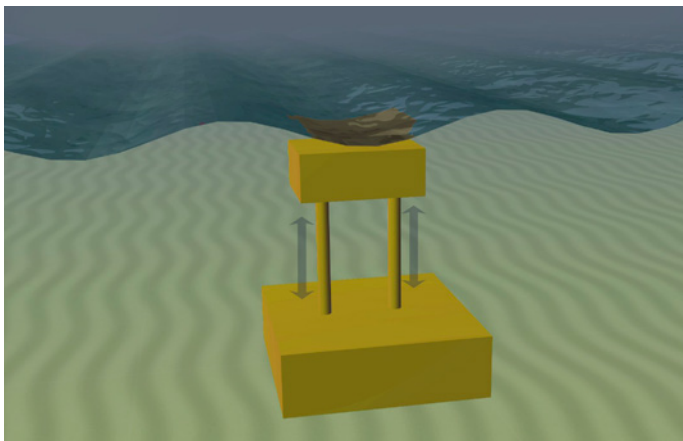
Estes dispositivos están somerxidos preto da costa e suxeitos ao fondo mariño. O movemento das ondas produce que o nivel do mar suba e baixe enriba do dispositivo inducendo unha presión diferencial que produce que o dispositivo suba e baixe coas ondas (figura 5.13).



*Figura 5.11 (a,b). Wave Dragon. Imaxes cedidas por [www.wavedragon.net](http://www.wavedragon.net)*

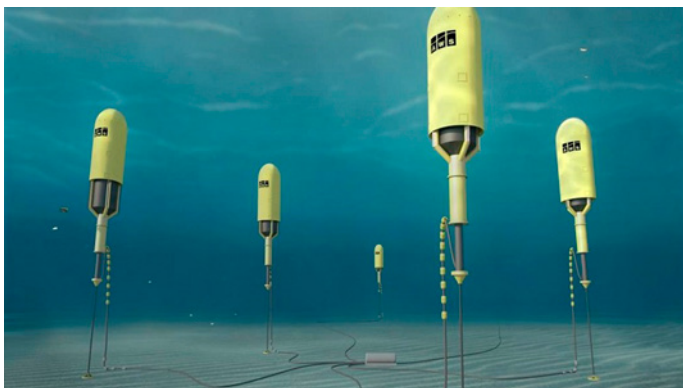


*Figura 5.12. Parque de Wave Dragons. Imaxes cedidas por [www.wavedragon.net](http://www.wavedragon.net)*



*Figura 5.13. Esquema do funcionamento dun dispositivo de presión diferencial somerxido. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

Na figura 5.14 amósase un parque de dispositivos de presión diferencial mergullados.

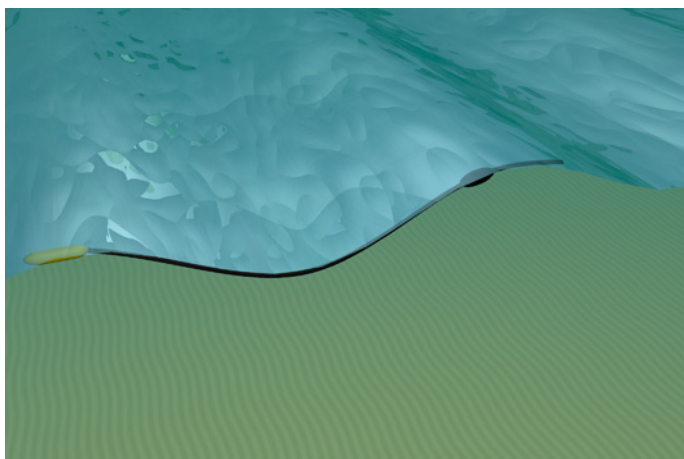


*Figura 5.14. Parque de dispositivos de presión diferencial mergullado. Imaxe cedida por AWS Ocean Energy. Imaxe obtida da páxina web ([tethys-engineering.pnnl.gov/](http://tethys-engineering.pnnl.gov/))*

### 5.2.7. Dispositivos de onda flexibles

Estes dispositivos consisten nun tubo de goma cheo de auga que está amarrado ao fondo mariño e disposto enfrontado ás ondas (figura 5.15).

A auga entra pola popa e o paso da onda provoca variacións de presión ao longo da lonxitude do tubo creando unha protuberancia. A medida que a protuberancia percorre o tubo crece, colleitando enerxía que pode ser empregada para conducir unha turbina.



*Figura 5.15. Esquema do funcionamento dun dispositivo de onda flexible. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

### 5.2.8. Dispositivos de masa xiratoria

Este tipo de dispositivo é un recipiente asimétrico flotante que contén unha masa rotativa excéntrica que se move coas ondas (figura 5.16).

Este dispositivo captura a enerxía das ondas mediante dous tipos de xiro, mentres o dispositivo se balancea e ondea coas ondas. O movemento do dispositivo impulsa un peso excéntrico ou un xiroscopio que causa a precesión. O movemento está conectado a un xerador eléctrico no interior do dispositivo.

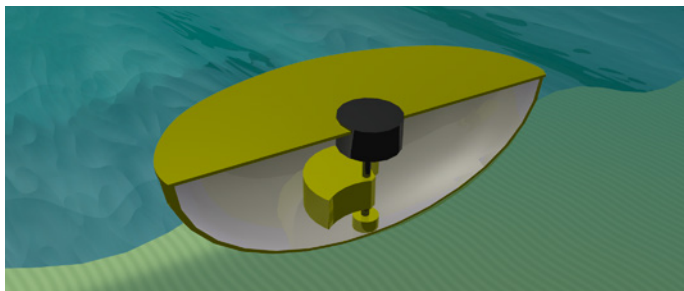


Figura 5.16. Esquema do funcionamento dun dispositivo de masa xiratoria. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

A figura 5.17 amosa un dispositivo que emprega esta tecnoloxía.

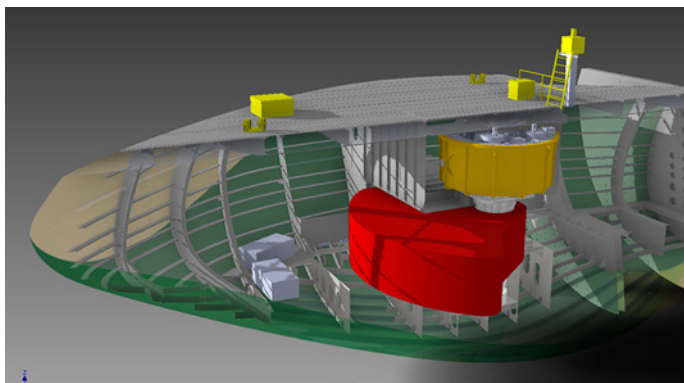


Figura 5.17 (a, b). Dispositivo de captación de enerxía de onda Penguin. Imaxe cedida por the Wello company ([www.wello.eu](http://www.wello.eu))



### 5.3. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía

Os mellores recursos de enerxía de ondas prodúcense nos lugares onde os fortes ventos viaxaron longas distancias. Polo tanto, as rexións do mundo con maiores potenciais enerxéticos son as sometidas aos ventos do leste (entre 30° e 60° N en ambos os hemisferios). Os ventos do golfo de México cruzan en dirección nordés e crean grandes ondas que chegan ás costas europeas, de xeito que os mellores recursos de enerxía de onda en Europa se producen ao longo das costas occidentais (figura 5.18). Preto das costas a enerxía das ondas diminúe debido á fricción con fondo; polo tanto, as ondas en augas profundas lonxe da costa son as que terán unha maior enerxía.

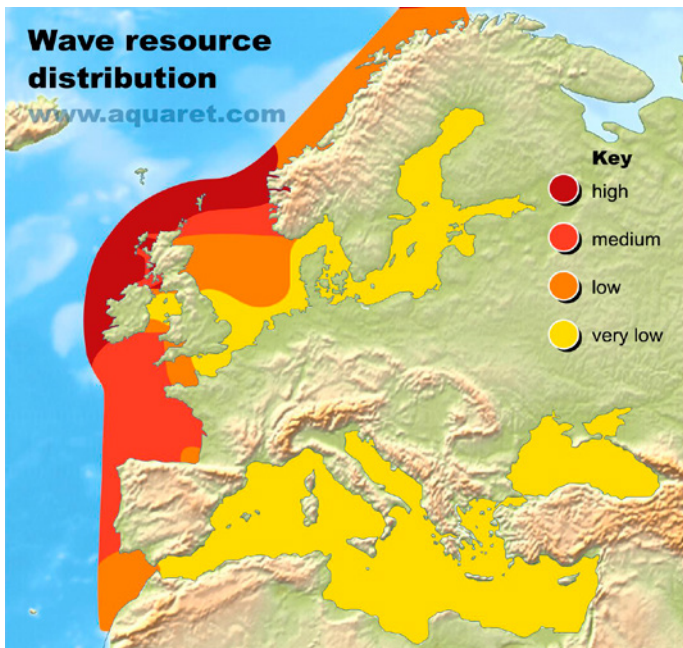


Figura 5.18. Esquema do recurso de enerxía de onda en Europa. Imaxe obtida de Aqua-RET (www.aquaret.com)

A capacidade de enerxía das ondas en Europa varía entre os  $75 \text{ kWm}^{-1}$  en Irlanda e Escocia aos  $20 \text{ kWm}^{-1}$  nas illas Canarias. As costas europeas son capaces de proporcionar máis do 50 % do consumo total do continente. En particular, na península ibérica, segundo o informe técnico do plan de enerxías renovables, PER 2011-2020, a costa galega ten o maior recurso de enerxía das ondas, con valores medios entre  $40\text{-}50 \text{ kWm}^{-1}$ , seguido da costa cantábrica con arredor de  $40 \text{ kWm}^{-1}$  e a costa norte das illas Canarias.

## 5.4. Vantaxes e desvantaxes da enerxía de onda

A enerxía das ondas presenta moitos aspectos positivos como que:

- O océano, que cobre ao redor do 75 % da Terra, é moi accesible.
- As ondas conteñen unha enorme cantidade de potencial enerxético (fórmanse constantemente e transportan e conservan enerxía durante miles de quilómetros).
- A enerxía das ondas ten unha maior densidade e predicibilidade ca a enerxía solar e eólica. Ademais, investigacións previas (Drew *et al.*, 2009) demostraron que os dispositivos de enerxía de ondas poden xerar enerxía ata o 90 % do tempo, fronte ao 25 % dos dispositivos solares e eólicos, polo que se poderían usar as 24 horas do día.

Non obstante, unha desvantaxe importante é o custo da tecnoloxía implicada. Estímase que o custo por MW h obtido da enerxía de ondas é superior a 1,5 veces o custo da electricidade dos parques eólicos, e máis de tres veces ca a enerxía das centrais de carbón.

## Capítulo 6

# A enerxía da marea

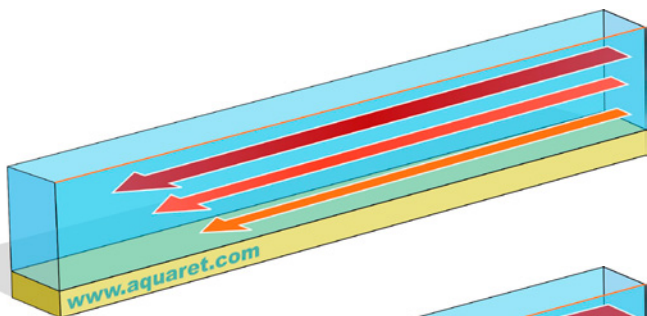
### 6.1. De onde se obtén a enerxía?

A enerxía da marea ten a súa orixe no ascenso e descenso do nivel do mar producido pola acción gravitacional do Sol e da Lúa. Isto produce un ciclo diario de subida e de baixada do nivel do mar respecto a terra que resulta en fluxos de marea enchentes e saíntes. Existen dúas formas diferentes de aproveitar este movemento da auga: 1) mediante dispositivos que transforman a enerxía cinética do fluxo de marea e 2) mediante encoros que aproveitan a subida e a baixada do nivel do mar e a enerxía potencial creada pola auga atrapada na cunca.

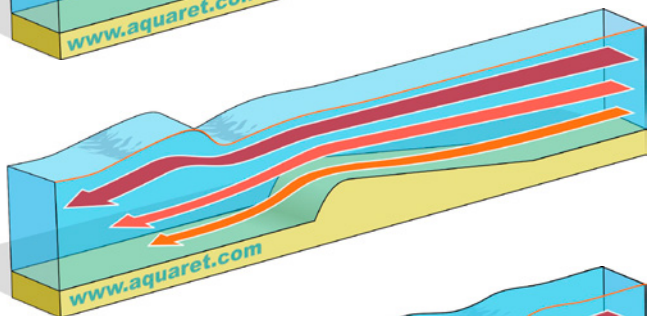
Hai diferentes factores chave que inflúen na transformación da enerxía da marea:

1. O fluxo de marea é laminar (figura 6.1a).
2. Pódense formar desbordamentos nos lugares onde o fluxo de marea flúe sobre unha elevación do fondo mariño (figura 6.1b).
3. Pódense desenvolver mares turbulentos en lugares onde conflúen marea e ondas (figura 6.1c).
4. Pódense crear zonas de afundimento ou afloramento en rexións onde o leito mariño é rugoso (figura 6.1d).
5. Fórmanse remuíños fluxo abaixo dunha restrición da corrente de marea (figura 6.1e).
6. As correntes de marea máis fortes xéranse en diferentes rexións durante a marea entrante e durante a marea saínte. A rexión onde as correntes de marea son sempre fortes é moi limitada (figura 6.1f).

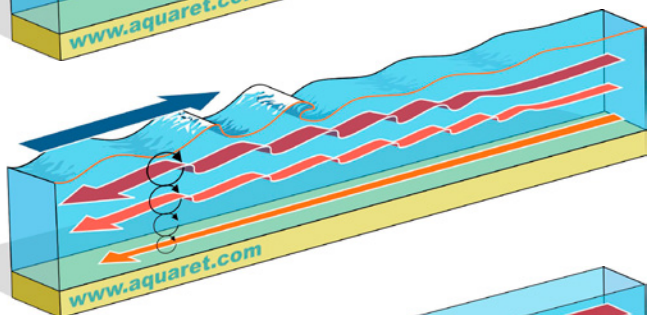
a



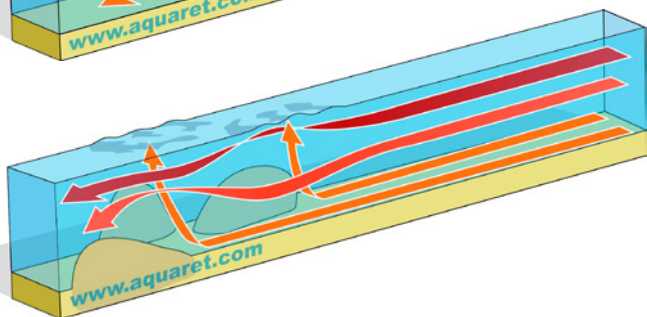
b



c



d



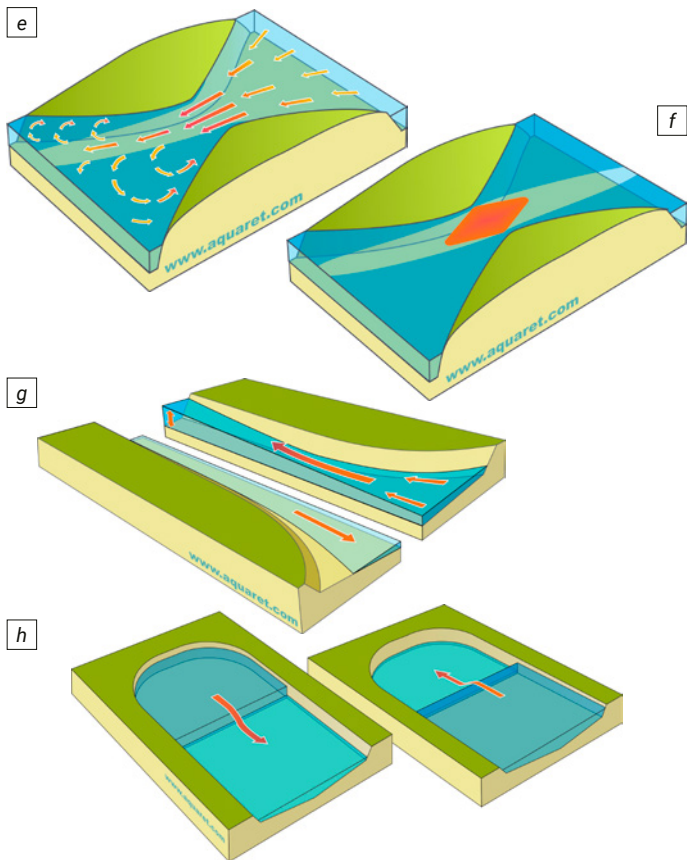


Figura 6.1(a-h). Esquema dos factores que inflúen na transformación da enerxía da marea en electricidade. Imaxes obtidas de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

7. Xorden fortes fluxos de marea cando a marea está constringida por terra; por exemplo, en estuarios onde o fluxo de auga enchente funíase nunha canle relativamente estreita (figura 6.1g).
8. Pódense crear encoros de auga en rexións con alta amplitude de marea a medida que a marea sobe e baixa (figura 6.1h).

## 6.2. Tipos de tecnoloxías

Existen dúas formas de aproveitar a enerxía da marea: 1) mediante dispositivos que capturan a enerxía cinética das correntes durante as mareas enchente e saínte e 2) mediante encoros de marea que almacenan grandes volumes de auga.

### 6.2.1. Tecnoloxías de fluxo de marea

Estes dispositivos están deseñados para capturar a enerxía cinética do fluxo de auga nas áreas de marea. Este tipo de dispositivos tamén se poden empregar en ríos e en correntes mariñas coa diferenza de que no caso de zonas de marea estes dispositivos teñen que operar baixo un fluxo bidireccional en lugar de unidireccional.

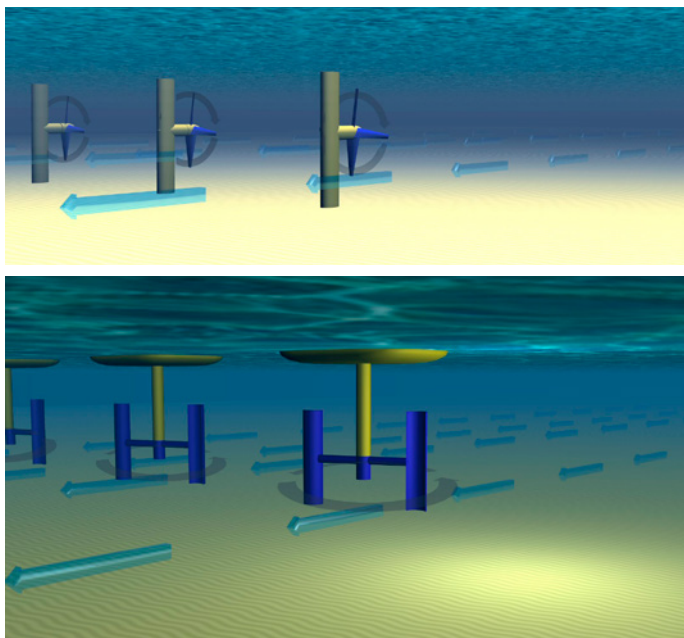


Figura 6.2 (a, b). Esquema do funcionamento de turbinas de eixe horizontal (arriba) e vertical (abaixo). Imaxes obtidas de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

## Turbinas de eixe horizontal e vertical

Estes dispositivos traballan de forma similar a unha turbina tradicional. O fluxo de marea fai que o rotor xire arredor dun eixe horizontal (figura 6.2, arriba) ou vertical (figura 6.2, abaixo). Como a densidade da auga é 800 veces maior ca a do aire, as turbinas de marea poden capturar enerxía con correntes de auga máis lentas e turbinas menores ca as de vento.

## Hidroás recíprocas

Son dispositivos sen compoñentes xiratorios. Consiste nun dispositivo oscilante composto dunha hidroá conectada a un brazo oscilante que é empurrada cara adiante e cara atrás na dirección perpendicular ao fluxo. O ascenso da hidroá debido ao fluxo de marea fai que o brazo oscile xerando electricidade.

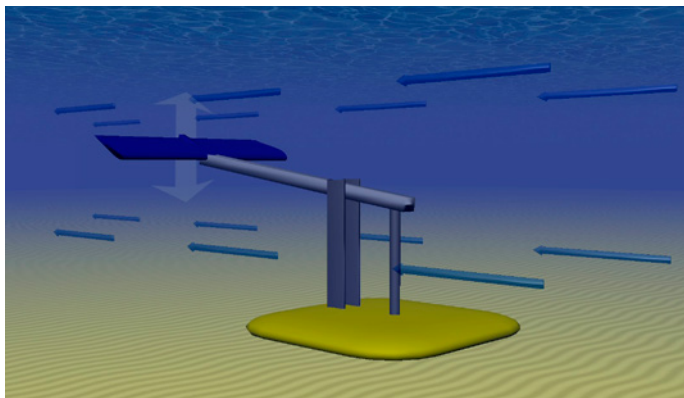


Figura 6.3. Esquema do funcionamento dunha hidroá recíproca. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

## Dispositivos de efecto Venturi

Son dispositivos que fan pasar o fluxo de auga por un conduto de sección menor, aumentando así a súa velocidade e diminuíndo a presión xusto detrás da turbina. O fluxo resultante pode conducir unha turbina directamente ou ben inducir unha diferenza de presión no sistema que conduza unha turbina de aire.

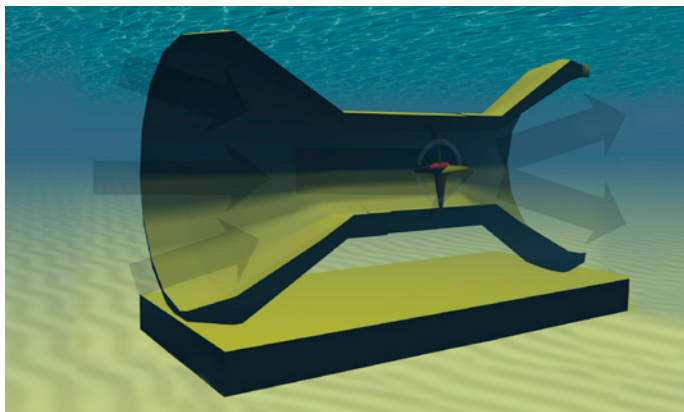


Figura 6.4. Esquema do funcionamento dun dispositivo de efecto Venturi. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

### Papaventos de marea

É un dispositivo que recorda a un papaventos. Está ancorado ao fondo mariño e leva unha turbina debaixo da á. O papaventos voa no réxime de marea describindo a figura dun oito para aumentar a velocidade da auga que pasa a través da turbina.

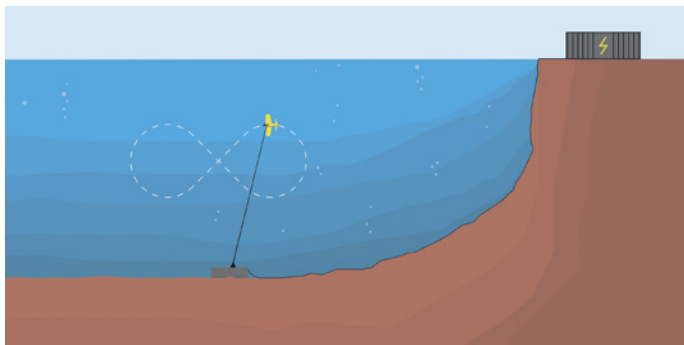


Figura 6.5. Esquema do funcionamento dun papaventos de marea. Imaxe obtida de Minesto ([minesto.com/news-media](http://minesto.com/news-media))



Na figura 6.6 amósase un papaventos de marea fabricada por Minesto.



Figura 6.6. Papaventos de marea Minesto. Imaxe obtida de Minesto ([minesto.com/news-media](http://minesto.com/news-media))

### Sacarrollas de Archimedes

É un dispositivo con forma de sacarrollas helicoidal. Extrae a enerxía do fluxo de marea a medida que a auga sobe a través da espiral facendo xirar as turbinas. Na figura 6.7 temos un esquema deste tipo de dispositivos.

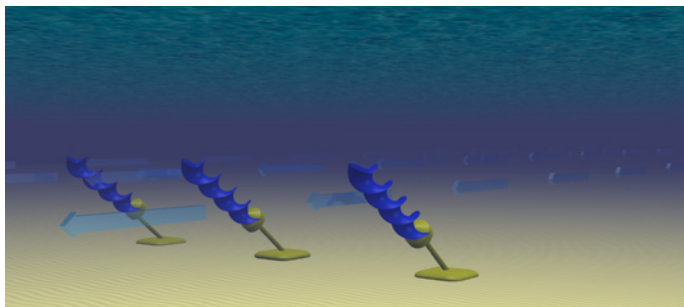


Figura 6.7. Esquema do funcionamento dun sacarrollas de Archimedes. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

### 6.2.2. Encoros de marea

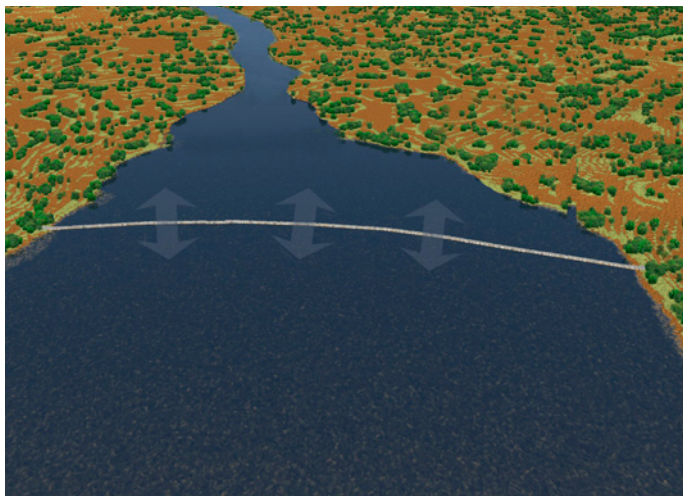
A continuación descríbese o proceso de transformación da enerxía da marea en enerxía eléctrica nos encoros de marea. Unhas portas móbiles ábrense durante a marea enchente deixando pasar a auga ao encoro. Despois, as portas péchanse e durante a marea saínte, cando a diferenza de altura entre a auga dentro do encoro e fóra é o suficientemente grande, as portas móbiles ábrense deixando saír a auga a través dunhas turbinas hidroeléctricas.



*Figura 6.8. Esquema do funcionamento dun encoro de marea. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

### Presas de marea

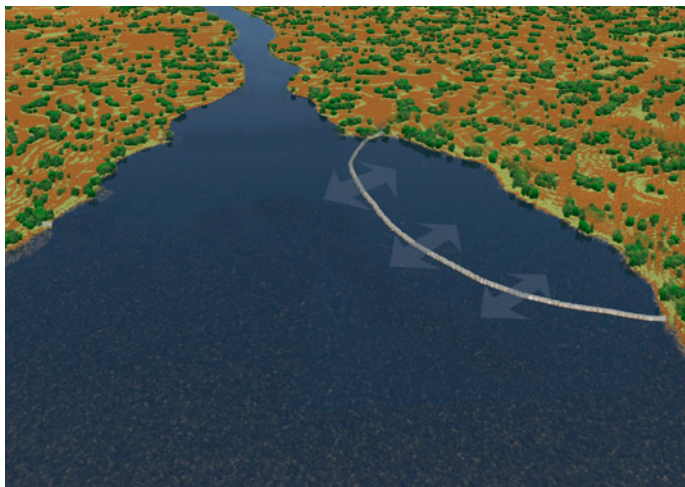
Trátase de construír un encoro a través dun estuario cunha grande amplitude de marea. Prodúcese a enerxía permitindo que a auga flúa dentro e fóra do estuario a través de turbinas de auga. Na figura 6.9 amósase un esquema dunha presa de marea destas características.



*Figura 6.9. Esquema dunha presa de marea. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

### Presas de marea delimitadas

Estes encoros funcionan de forma similar aos descritos no caso anterior pero sen obstruír completamente o estuario, tal e como se pode ver na figura 6.10. Normalmente constrúese contra as marxes dun estuario.



*Figura 6.10. Esquema dunha presa de marea delimitada. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))*

### Lagoas de marea simples e múltiples

Estes encoros funcionan de forma similar aos descritos no caso anterior pero sen obstruír en absoluto o estuario, tal e como se pode ver na figura 6.11. Son a proposta máis nova deste tipo de tecnoloxías e poden disporse en calquera lugar do estuario sen restrinxirse as marxes.

Esta tecnoloxía de encoros de marea teñen unha serie de desvantaxes como o elevado custo da obra de enxeñaría civil necesaria para construír o dique do encoro, o alto impacto visual e estrutural sobre a paisaxe costeira, así como o atraso de arredor de tres horas que producen na marea, o que supón outra serie de fenómenos no seu contorno.



Figura 6.11 (a, b). Esquema de lagoas de marea simple (esquerda) e múltiple (dereita). Imaxes obtidas de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

### 6.3. Lugares máis axeitados para explotar esta enerxía

Os lugares máis axeitados para instalar dispositivos que extraen a enerxía cinética da marea son aqueles onde a amplitude de marea é grande ( $> 5$  m) e onde as velocidades das correntes se ven amplificadas polo efecto funil xerado pola liña de costa ou o leito mariño; por exemplo, en estreitos, canles entre illas...

A figura 6.12 amosa como se distribúe este recurso de enerxía da marea nas rexións de Europa.

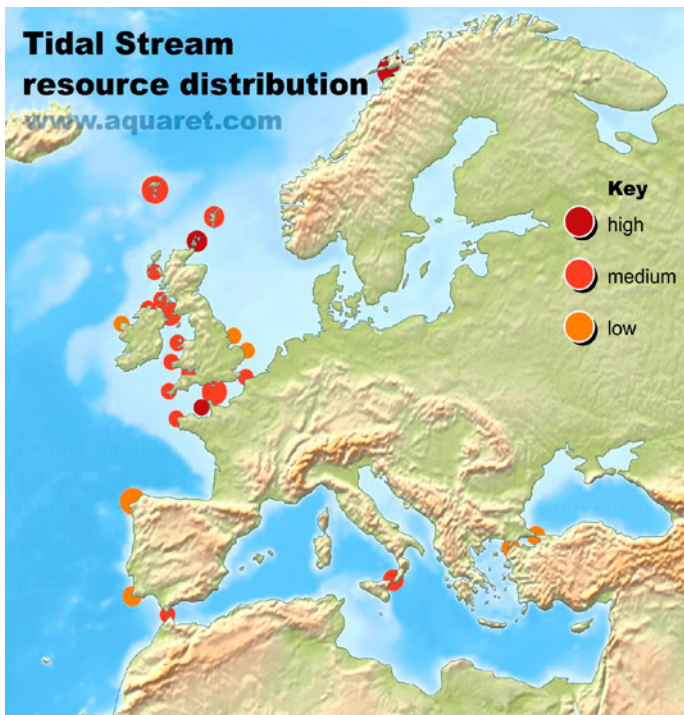


Figura 6.12. Esquema do recurso de fluxo de enerxía da marea en Europa. Imaxe obtida de Aqua-RET (www.aquaret.com)

Respecto ás rexións máis favorables para a instalación de encoros de marea son as rexións pouco profundas onde o rango de marea sexa grande. A amplitude de marea aumenta considerablemente cara a terra, de feito a topografía de cada rexión pode amplificar o rango de marea producindo puntos locais onde este recurso sexa grande. Normalmente isto ocorre en estuarios, que é onde se atopan as mellores mareas producidas polo efecto funil da auga no estuario e a inclinación do fondo mariño. A figura 6.13 amosa a distribución do recurso enerxético obtido das presas de marea nas distintas rexións de Europa.

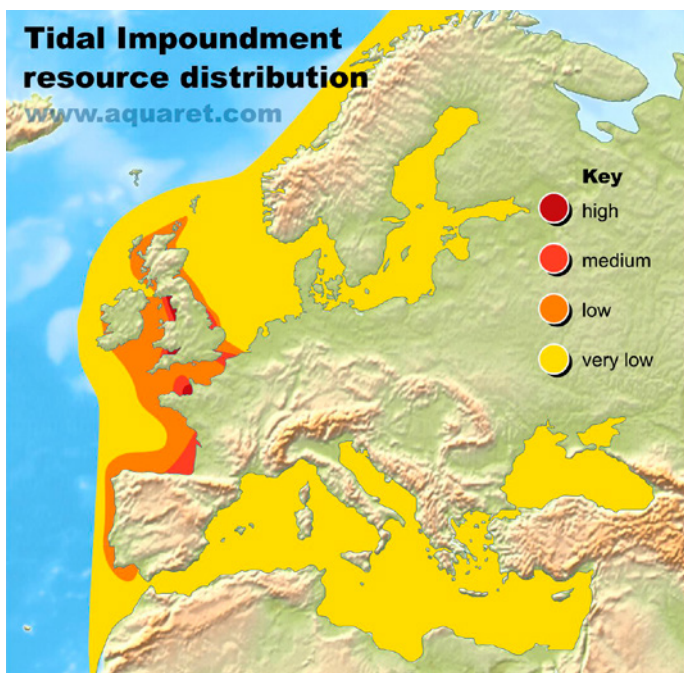


Figura 6.13. Esquema do recurso das presas de marea en Europa. Imaxe obtida de Aqua-RET ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com))

O primeiro proxecto de aproveitamento desta enerxía realizouse en Francia en 1996 na ría do Rance nas costas da Bretaña con 240 MW

de potencia. Posteriormente, viría a central de Kislaya no mar de Barents (Rusia) e a Central da Bahía de Fundy no río Annápolis (fronteira entre EUA e Canadá). En España, non hai localizacións que cumpran os requisitos para que unha central de marea sexa rendible a excepción dalgunha zona portuaria onde a súa instalación chocaría con restricións asociadas a conflitos de uso con outras actividades.

## **6.4. Vantaxes e desvantaxes da enerxía da marea**

Vantaxes:

- Renovable e non contaminante
- Silenciosa
- Predicible
- Dispoñible en calquera clima e época do ano
- Ten unha longa vida útil
- É eficiente a baixas velocidades

Desvantaxes:

- Impacto visual e estrutural sobre a paisaxe costeira
- Localización puntual
- Cara tecnoloxía e traslado da enerxía custoso
- Efecto negativo sobre a flora e a fauna
- Produción de enerxía limitada
- Compartir o espazo con outros usos do mar





## Capítulo 7

# A enerxía xeotérmica

### 7.1. De onde se obtén a enerxía?

A enerxía xeotérmica é unha enerxía que deriva da calor interna da Terra como consecuencia do proceso de descomposición radioactiva de diferentes materiais no núcleo terrestre. Esta calor pode chegar ata a superficie, ou as súas proximidades, grazas a procesos de conduction e de convección. De forma xeral, a medida que profundamos no interior da cortiza terrestre a temperatura vaise incrementando a razón duns 25-30 °C por cada quilómetro, é o que se coñece como gradiente xeotérmico. Non obstante, existen determinadas rexións do noso planeta que contan cunhas características peculiares que favorecen un gradiente térmico moito máis alto. Así, por exemplo, zonas con materiais de maior condutividade térmica ou áreas xeoloxicamente activas (alta actividade sísmica e áreas con actividade volcánica recente) favorecen que o fluxo de enerxía dende o interior da Terra ata a superficie terrestre sexa máis elevado, e chega a gradientes de 15-30 °C cada cen metros. Cando estas condicións se ven favorecidas pola permeabilidade do terreo, de tal forma que unha capa con materiais permeables e auga queda retida entre dúas capas impermeables que impide que o fluído escape, danse as condicións para a súa explotación, é o que se coñece como xacemento xeotérmico.

### 7.2. Clasificación e usos

A variable que determina o nivel enerxético dos xacementos xeotérmicos e, polo tanto, os seus posibles usos, é a temperatura. Dependendo desta, pódense clasificar os xacementos en tres tipos:

1. De alta temperatura ( $>150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): o alto poder enerxético destes xacementos posibilitan o seu uso para xerar enerxía eléctrica. Normalmente estas condicións danse pola presenza dun acuífero nunha zona do terreo a alta temperatura, o que posibilita obter auga e vapor a moi alta presión e temperatura, suficiente para mover unha turbina nunha central xeotérmica.
2. De media-baixa temperatura ( $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): poden proporcionar calefacción e auga quente en vilas e en cidades de forma directa. Ademais, este rango de temperaturas permite o seu uso en industrias como, por exemplo, piscifactorías ou invernadoiros. Nalgúns casos estas temperaturas poden ser suficientes para producir enerxía eléctrica.
3. De moi baixa temperatura ( $<30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): a escasos metros da superficie terrestre, a temperatura permanece estable ao longo de todo o ano. Así, practicamente a totalidade da cortiza terrestre externa do planeta constitúe un almacén de recursos xeotérmicos de moi baixa temperatura. Este comportamento térmico do subsolo permite, a pesar da súa baixa temperatura, a climatización de edificios e vivendas, proporcionando calefacción nos meses fríos e refrixeración nos meses máis cálidos.

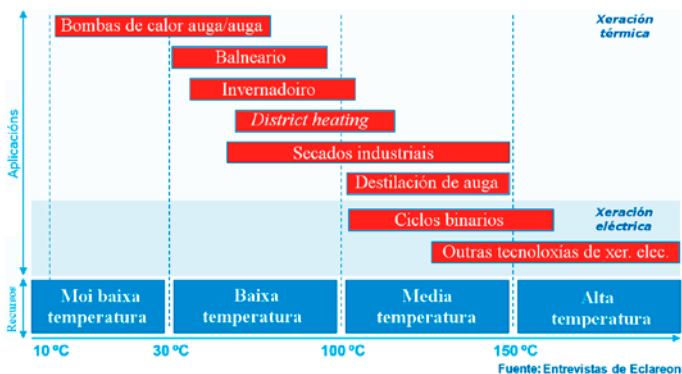


Figura 7.1. Principais recursos xeotérmicos e os seus posibles usos. Fonte: análise do sector da enerxía xeotérmica en España, GEOPLAT (2015)

## 7.3. Tecnoloxías

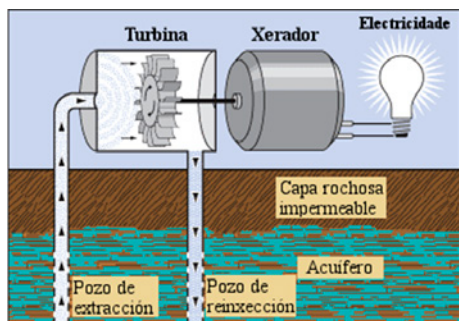
As instalacións e as tecnoloxías necesarias para aproveitar os recursos que ofrecen os xacementos xeotérmicos varían considerablemente dependendo do uso (xeración eléctrica ou xeración térmica) que se lle de a este recurso renovable. Non obstante, existen unha serie de pasos comúns a todo proxecto xeotérmico, independentemente de cal sexa o seu propósito final. Unha primeira etapa consiste na exploración para localizar os xacementos xeotérmicos e medir o recurso dispoñible mediante sondaxes, sendo moi útil a tecnoloxía empregada na prospección de xacementos de hidrocarburos e augas subterráneas. A esta fase sucédeas unha perforación, que variará notablemente se se trata dun proxecto de xeotermia profunda ou superficial. Finalmente pasaríase á instalación do equipamento necesario que xa depende totalmente do uso que se lle dá ao recurso enerxético.

A continuación descríbense os equipamentos e as tecnoloxías máis comúns que se poden instalar:

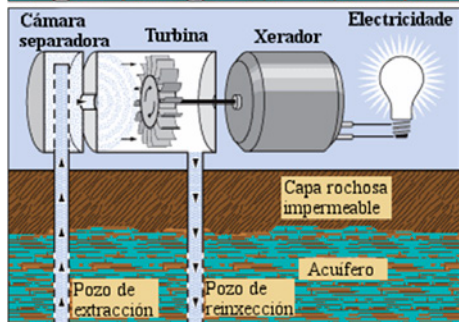
### 7.3.1. Centrais xeotérmicas

O aproveitamento dos xacementos xeotérmicos para producir enerxía eléctrica faise a través de centrais xeotérmicas. Dependendo das características, natureza e profundidade do fluído xeotermal, que nestes casos supera habitualmente os 1.500 metros de profundidade, pódense distinguir tres tipos de centrais xeotérmicas (figura 7.2).

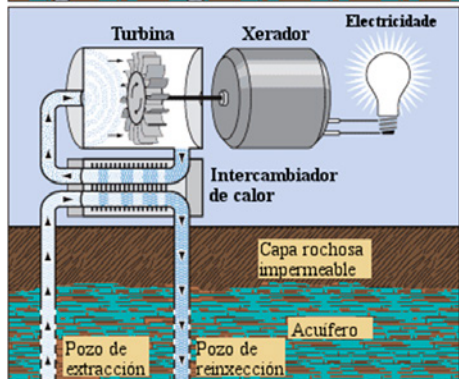
- Centrais de vapor seco: son as que contan cun mecanismo máis simple de funcionamento, xa que empregan directamente o fluído (vapor en estado de saturación ou vapor seco) para mover unha turbina.
- Centrais de vapor de destello (ou *flash*): nestas centrais o fluído que chega á superficie é unha mestura de vapor e de auga. Este fluído dirixese a un tanque onde a presión é moito menor ca a do fluído, o que provoca que o líquido se vaporice rapidamente e, posteriormente, este vapor impulsa unha turbina.
- Centrais de ciclo binario: este tipo de centrais son máis modernas ca as mencionadas anteriormente e empréganse fundamentalmente cando a temperatura do fluído non alcanza os 150 °C ou cando este fluído ten unha salinidade moi alta. O fluído xeotermal



**Central de vapor seco**



**Central de destello**



**Central de ciclo binario**

Figura 7.2. Esquema de funcionamento dos tres tipos de centrais xeotérmicas. Fonte: US Department of Energy

non move directamente unha turbina, senón que se emprega para quentar un fluído secundario, que deberá ter un baixo punto de ebulición e unha alta presión de vapor a baixas temperaturas, empregando un intercambiador de calor.

Todas estas centrais teñen en común a utilización dun pozo de extracción e doutro de reinxección que ten por obxectivo manter o nivel de produción do xacemento xeotérmico e que este non se esgote co paso de tempo.

### **7.3.2. Aproveitamentos mediante bomba de calor**

Os recursos xeotermiais superficiais de baixa e moi baixa temperatura pódense empregar en usos de índole térmica a través do aproveitamento da calor do subsolo. Existen diferentes tecnoloxías para explotar estes recursos xeotérmicos, aínda que todas elas teñen en común o uso dunha bomba de calor que une dous circuítos diferenciados. Unha bomba de calor permite a transformación da calor dende un nivel de baixa temperatura a outro superior grazas a un traballo externo que normalmente provén dun compresor.

Este tipo de sistemas divídense en pechados ou abertos atendendo ao tipo de circuítos que empregan, como se pode observar na figura 7.3. As instalacións con circuítos pechados contan cun intercambiador de calor co terreo, que consta de numerosas tubaxes, normalmente fabricadas de polietileno, que conteñen un líquido de intercambio. A disposición destas tubaxes pode ser horizontal ou vertical e están conectadas a unha bomba de calor sen que o líquido se libere ao exterior en ningún momento. Esta é a principal diferenza cos sistemas abertos, que precisan dunha captación próxima de auga que empregan como líquido de intercambio para posteriormente retornala a esa captación.

A cantidade de calor que se pode obter a través destes sistemas depende principalmente da diferenza de temperatura entre o foco frío (o terreo) e o foco quente (a vivenda). A menor diferenza maior serán o rendemento e a eficiencia da instalación.

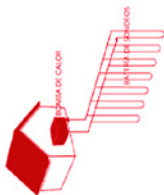
### **7.3.3. Sistemas xeotérmicos estimulados**

Cóñécese como sistema estimulado os sistemas de xeotermia profunda que precisan ser creados polo ser humano debido á presenza

### CIRCUITO PECHADO

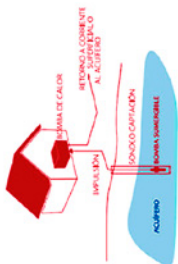


- Opción recomendada cando se dispón de maior cantidade de espazo.
- O intercambio de calor realízase con subsolo.
- Profundidade: 1,80-2 m.

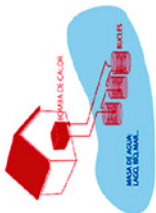


- Emprega unha menor cantidade de espazo horizontal.
- O intercambio de calor realízase con subsolo.
- Profundidade: 100-150 m.

### CIRCUITO ABERTO



- Precísanse pozos de auga, mares, ríos ou lagos no lugar de execución do proceso.
- A auga que circula está en constante renovación.
- Profundidade: variable.
- Opción moi económica xa que evita a colocación da tubaría no circuíto.



- Precisa un corpo de auga preto ó lugar de execución do proxecto.
- O intercambio de calor realízase ca auga.
- Profundidade: variable.

Figura 7.3. Tipos de intercambiadores xeotérmicos máis comúns. Fonte: análise do sector da enerxía xeotérmica en España, GEOPLAT (2015)

de rocha quente seca pero á ausencia dun fluído xeotermal. Este tipo de sistemas comezou a idearse nos anos setenta en EUA e dende o ano 2010 xa están operativas centrais xeotérmicas deste tipo en países como Francia, Alemaña ou EUA. Polo tanto, esta é unha tecnoloxía máis recente ca os sistemas convencionais mencionados anteriormente, e agárdase un incremento deste tipo de tecnoloxías nas próximas décadas.

De forma esquemática, as fases para instalar unha central xeotérmica a partir dun sistema estimulado pódense ver na figura 7.4. De forma breve, o que se busca é aproveitar as altas temperaturas das capas rochosas a grandes profundidades (> 3000 metros) empregando un fluído que se inxecta dende a superficie. Con este propósito cómpre levar a cabo unha perforación ata a capa rochosa a alta temperatura e, posteriormente, inxectar auga co obxectivo de fracturar o terreo e permitir que o fluído poida circular. Finalmente, créase un pozo para que o fluído inxectado poida saír a alta temperatura da mesma forma que se fai nas centrais xeotérmicas convencionais.

## **7.4. Lugares máis axeitados para instalar esta enerxía**

É importante ter en conta que as instalacións de xeotermia superficial que fan uso dunha bomba de calor pódense empregar en case a totalidade do noso planeta, aínda que non exista un xacemento xeotérmico. Non obstante, no caso da xeotermia profunda para xerar a enerxía eléctrica existen áreas xeoloxicamente activas que favorecen atopar altas temperaturas máis preto da superficie. Estas áreas son zonas de creación e desaparición de cortiza terrestre froito da dinámica de placas. Así, sirva como exemplo que Kenia é o país do mundo onde a produción de enerxía xeotérmica representa a maior porcentaxe (> 50 %) dentro do *mix* enerxético do país grazas á presenza do val do Rift, unha zona moi activa xeoloxicamente. É importante sinalar que estas áreas levan tamén asociadas unha maior actividade volcánica. Así, Islandia é o segundo país cunha maior dependencia da enerxía xeotérmica no seu *mix*. En termos absolutos de produción de enerxía xeotérmica, o maior produtor é EUA, seguido de Filipinas e Indonesia, países que tamén se asentan sobre áreas xeoloxicamente activas.

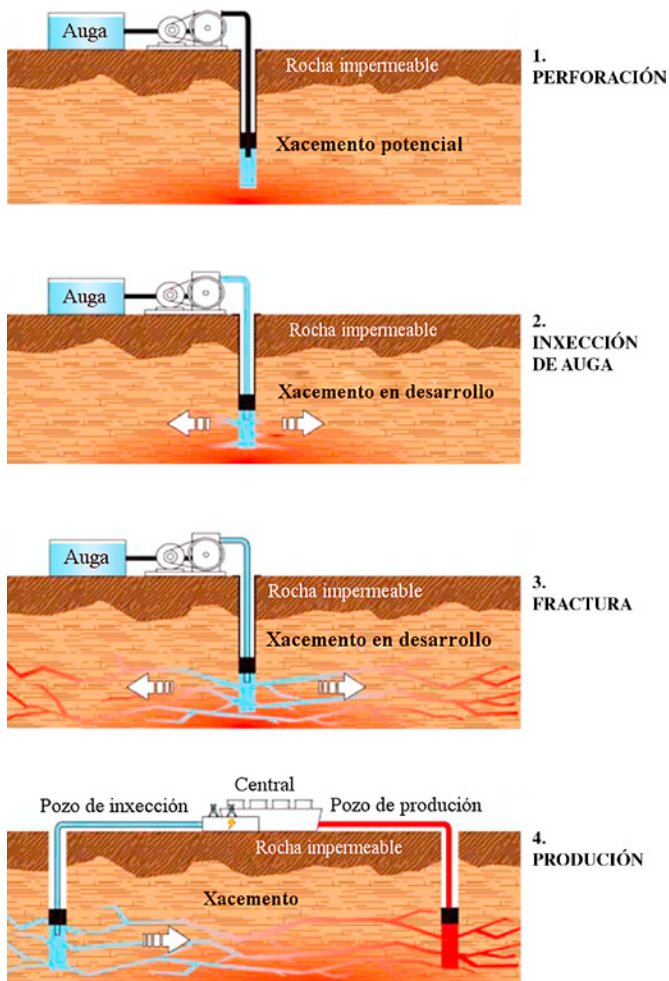


Figura 7.4. Pasos necesarios para a posta en marcha dunha central xeotérmica empregando un sistema estimulado. Fonte: US Department of Energy ([energy.gov/eere/geothermal/enhanced-geothermal-systems-0](http://energy.gov/eere/geothermal/enhanced-geothermal-systems-0))



A mellora das tecnoloxías empregadas para crear sistemas xeotérmicos estimulados pode favorecer un incremento da produción de enerxía a partir de xacementos xeotérmicos en áreas que non están consideradas xeoloxicamente activas.

## **7.5. Vantaxes e desvantaxes da enerxía xeotérmica**

Vantaxes:

- A enerxía eléctrica producida en centrais xeotérmicas non ten unha dependencia estacional ou horaria ao non depender das condicións climáticas como ocorre con outras enerxías renovables (solar, eólica...), polo que pode producir electricidade en todo momento favorecendo a estabilidade do recurso e a seguridade no achegamento de enerxía á rede eléctrica.
- Recurso renovable amplamente distribuído na Terra.
- O espazo que ocupan as instalacións para o aproveitamento xeotérmico é pouco na superficie.

Desvantaxes:

- No subsolo existen gases nocivos para a saúde humana como o ácido sulfhídrico que se poden ver liberados nas explotacións xeotermiais.
- A construción de centrais xeotérmicas para producir enerxía poden afectar a estabilidade do terreo e provocar subsidencias. Ademais, constatouse que o proceso de fractura hidráulica necesario para establecer sistemas de xeotermia estimuladas pode provocar movementos sísmicos. Este feito motivou a paralización dalgún proxecto deste tipo.
- Os custos económicos do proceso de exploración e perforación do terreo son altos.
- Aínda que este é un recurso renovable, unha mala xestión dos xacementos pode causar o seu progresivo esgotamento debido a unha baixada de temperatura. Por este motivo é importante levar a cabo unha reinxección do fluído unha vez extraída a enerxía calorífica.



## Capítulo 8

### A enerxía de biomasa

#### 8.1. De onde se obtén a enerxía?

A enerxía de biomasa, ou bioenerxía, refírese a calquera tipo de produción de enerxía que empregue como materia prima substancias vexetais ou animais. Exclúese nesta definición as materias primas englobadas en formacións xeolóxicas debido a procesos de mineralización. Esta definición abarca procesos moi diferentes que van dende a produción de calor con estufas de leña ata a produción de biocombustibles. Tradicionalmente a biomasa comprendía a enerxía

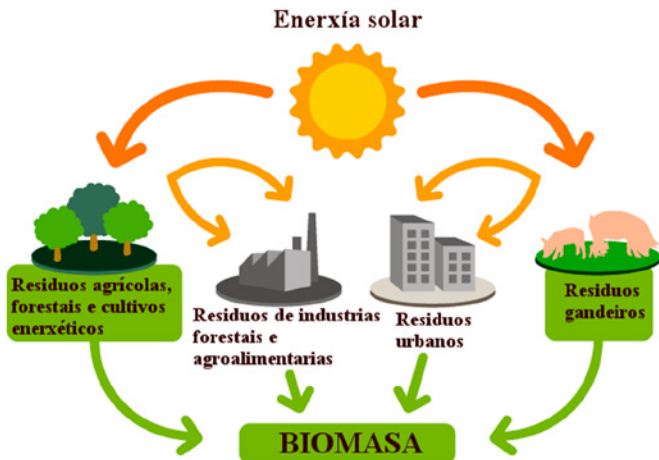


Figura 8.1. Materias primas empregadas para producir enerxía como biomasa

renovable que se pode obter da fracción biodegradable de produtos de refugallo e residuos procedentes da agricultura, silvicultura e das industrias relacionadas, así como da fracción biodegradable de residuos industriais e municipais. Non obstante, na actualidade a biomasa non só se refire ao aproveitamento de residuos ou refugallos, senón que existen cultivos destinados unicamente á produción de biocombustibles.

A enerxía que se almacena na biomasa provén directamente do Sol e é absorbida pola vexetación a través da fotosíntese. Esta enerxía pode liberarse a través dunha combustión directa para obter calor ou pódese converter en biocombustible e biogás que serán empregados posteriormente.

## 8.2. Clasificación e usos

Dada a heteroxeneidade das materias primas que se poden empregar na produción de enerxía a partir de biomasa, non existe un único criterio para clasificar os tipos de biomosas existentes. Así, por exemplo, pódense distinguir diferentes tipos atendendo ao seu estado (líquida, sólida...) ou á súa orixe (residuos forestais, residuos agrícolas, residuos industriais, cultivos enerxéticos...). Seguindo o criterio do Observatorio Europeo de Enerxías Renovables, pódense distinguir catro fontes enerxéticas diferentes dentro da biomasa:

### 8.2.1. Biomasa sólida

Nesta categoría inclúese a materia orgánica de orixe vexetal ou animal en estado sólido que se pode aproveitar para producir calor ou enerxía eléctrica. A biomasa sólida pode dividirse en dúas categorías:

- **Primaria.** Son cultivos de especies vexetais destinados especificamente á produción de biomasa para o seu aproveitamento enerxético, que reciben o nome de cultivos enerxéticos. Son moitas as especies, tanto arbóreas coma herbáceas que se empregan como cultivos enerxéticos. Algúns exemplos de especies forestais leñosas son o salgueiro, o chopo, o eucalipto ou a paulonia. Entre as especies herbáceas pódense destacar o cardo, o sorgo, a colza etíope ou a *brassica carinata*.

- Secundaria. Refírese a residuos sólidos de diferente tipo. Residuos forestais froito de operacións de limpeza ou podas; residuos agrícolas que poden ser herbáceos como, por exemplo, os canotos do millo, ou leñosos como os xerados nas podas de viñedos ou árbores froiteiras; residuos de industrias forestais e agrícolas (cortizas, achas, serraduras, ósos de olivas, cascas de froitos secos etc.).

### 8.2.2. Biogás

Este gas é o resultado da fermentación anaerobia dos compoñentes orgánicos de determinados residuos. Este proceso, coñecido como dixestión anaerobia, prodúcese grazas a bacterias capaces de desenvolverse en ambientes sen osíxeno. O biogás pode proceder da dixestión anaerobia que ten lugar de forma natural nos residuos sólidos urbanos depositados nos vertedoiros (desgasificación) ou pode producirse en dixestores anaerobios (metanización voluntaria). O biogás componse principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

A dixestión anaerobia pode aplicarse a excedentes de colleitas, residuos agrícolas e gandeiros, cultivos enerxéticos e lodos procedentes de plantas depuradoras ou de efluentes industriais. Estes residuos poden tratarse por separado ou de forma conxunta, o que se coñece como codixestión. Normalmente o biogás procedente de augas residuais urbanas ou lodos industriais prodúcese nas propias plantas depuradoras, mentres que o que se xera grazas a residuos agrícolas e gandeiros poden producirse en pequenas plantas de biogás no ámbito de granxas ou dun grupo de granxas.

Os usos que se lle poden dar ao biogás son moi variados. Así, o biogás é a única enerxía renovable que se pode empregar para calquera das grandes aplicacións enerxéticas: eléctrica, térmica ou como carburante. Empregando unha caldeira pode utilizarse para xerar calor ou electricidade. Tamén é posible o seu aproveitamento para xerar electricidade en motores e turbinas, pilas de combustible, introdución nas infraestruturas de gas natural existentes previa purificación e agregación de aditivos necesarios. Finalmente, tamén é posible o seu uso como material base para a síntese de metanol ou gas natural licuado, que son produtos de alto valor engadido.

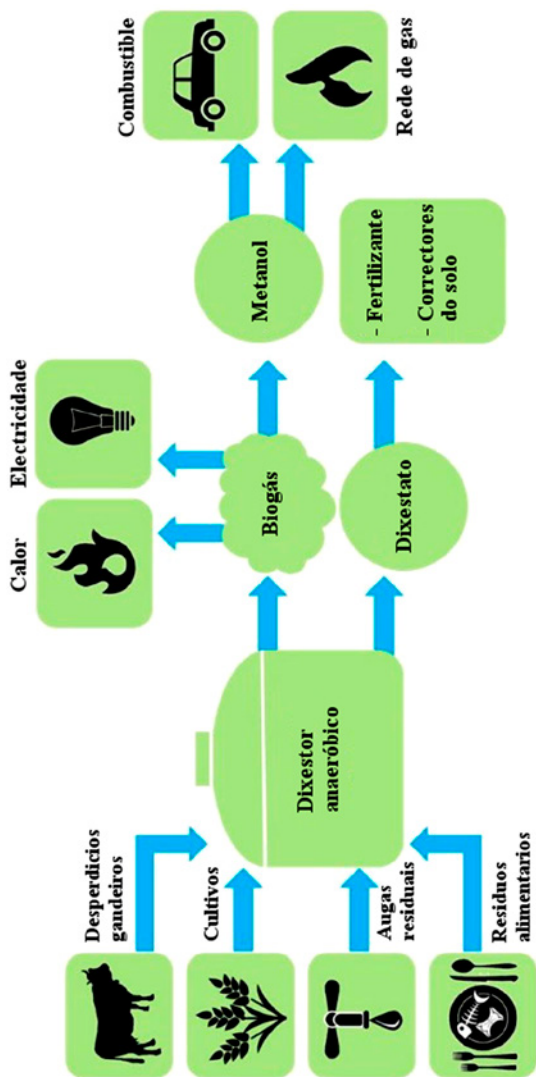


Figura 8.2. Esquema do proceso de dixestión anaeróbica. Fonte: Sara Tanigawa, Environmental and Energy Study Institute

### **8.2.3. Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos**

Nesta categoría inclúense os residuos orgánicos procedentes de xardíns e de parques, os residuos procedentes das cociñas e dos alimentos nos fogares, bares, restaurantes, provedores e redes de distribución de alimentos e residuos procedentes das plantas de tratamento dos alimentos.

A transformación en enerxía destes residuos faise a través da incineración.

### **8.2.4. Biocarburantes**

Un biocarburante é un combustible líquido de orixe biolóxica que pode substituír a gasolina ou o gasóleo de maneira total, en mestura con eles ou como aditivo. Os biocarburantes máis empregados son o bioetanol e o biodiésel, que poden substituír a gasolina e o gasóleo, respectivamente.

O bioetanol pode obterse mediante dous procesos. Por un lado, a través da fermentación dos azucres presentes en plantas como a cana de azucre ou a remolacha, ou a través de procesos de hidrólise e de fermentación do amidón obtido do millo e outros cereais. A obtención do biodiésel faise empregando aceites vexetais (xirasol, soia, palma ou colza, principalmente) que se transforman a través dun proceso industrial de transesterificación. O biodiésel é un combustible renovable, biodegradable e non tóxico cuns parámetros fisicoquímicos moi similares aos do diésel.

## **8.3. Tecnoloxías**

Os sistemas de produción de enerxía a partir da biomasa son variados debido á heteroxeneidade das materias primas que se poden empregar. As tecnoloxías empregadas no aproveitamento deste recurso varían dependendo do proceso que se empregue para converter a biomasa en enerxía. Estes procesos pódense dividir en tres categorías: termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos.

A produción de calor e de auga quente sanitaria é o máis común dentro do sector da biomasa, estando nun nivel menor de desenvolvemento a produción de electricidade.

### 8.3.1. Procesos termoquímicos

A maior parte da enerxía que se obtén da biomasa faise a través dun proceso de combustión, consistente en combinar biomasa (madeira, follas secas, cascas de vexetais, esterco seco etc.) con osíxeno a alta temperatura, o que dá como resultado  $\text{CO}_2$ , vapor de auga e calor. O proceso de combustión pode levarse a cabo en caldeiras ou estufas individuais como as que se veñen empregando tradicionalmente nos fogares. Caldeiras de maior tamaño tamén se empregan para abastecer de calor e de auga bloques de vivendas e de edificios e tamén para satisfacer os consumos térmicos de determinadas industrias, como por exemplo a industria agroforestal que pode aproveitar os seus propios residuos para producir calor e nalgúns casos tamén electricidade, o que se coñece como coxeración con biomasa. A combustión non é un proceso que permita transformar a biomasa en combustibles que poidan ser empregados posteriormente. Con esta finalidade, aplícanse outros procesos termoquímicos como poden ser a pirólise, a gasificación e a licuefacción.

A pirólise é un proceso termoquímico que ten como finalidade converter a biomasa en combustibles útiles para ser empregados posteriormente. A base deste proceso é triturar a biomasa e metela nun reactor a temperaturas moderadamente altas (350-650 °C) en ausencia de osíxeno; así lógrase unha descomposición térmica da materia orgánica. É un proceso químico complexo porque envolve diferentes reaccións que se ven afectadas polos seguintes factores: estrutura e composición química da materia prima, a tecnoloxía empregada, a velocidade de quecemento da biomasa, o tempo durante o que se lle aplica calor, a velocidade de arrefriamento e a temperatura do proceso. Así, existen diferentes tipos de pirólise que, en consecuencia, dá como resultados uns produtos diferentes. Basicamente son tres os produtos que se poden obter a través dos diferentes tipos de pirólise:

- Un gas composto por hidróxeno, óxidos de carbono e hidrocarburos gasosos que se pode empregar como combustible para o propio proceso de pirólise ou como combustible en motores de coxeración.
- Aceite de pirólise, tamén coñecido coma bioaceite (*bio-oil*). Obtense por arrefriamento e por condensación dos gases producidos durante o proceso de pirólise. Conteñen unha mestura complexa



de hidrocarburos alifáticos oxigenados e compostos aromáticos. Cun posprocesamento é posible o seu uso como combustible.

- Biocarbón (*biochar*). É un residuo sólido de alta densidade enerxética que se pode empregar como carbón activo, fertilizante ou biocombustible.

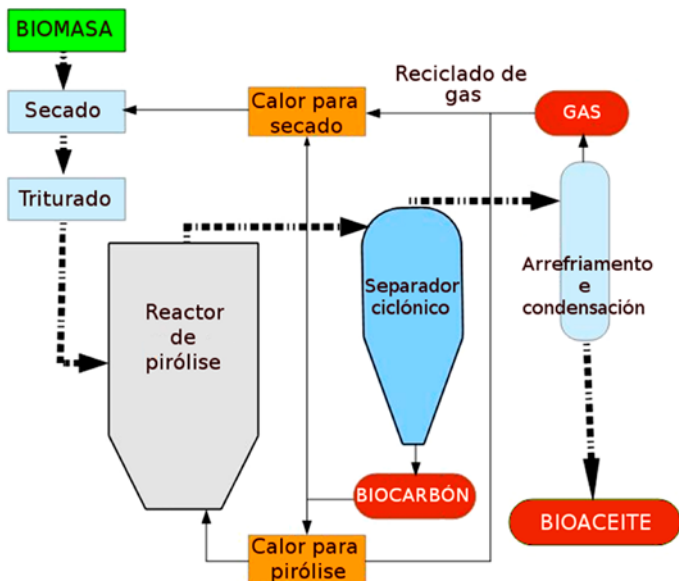


Figura 8.3. Esquema do proceso industrial de pirólise.

Fonte: <http://wiki.zero-emissions.at>

No proceso de gasificación o que se busca é transformar a biomasa sólida en combustibles gasosos. Tamén se emprega un reactor, pero neste caso a maior temperatura coa pirólise, e inxéctase unha cantidade limitada de osíxeno para lograr unha combustión incompleta que libera gran cantidade de calor e unha mestura de gases coma o  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  ou  $\text{CH}_4$ . Este gas, coñecido como gas de síntese (*syngas*) pode empregar-se para queimar en turbinas destinadas á xeración eléctrica ou pode tratarse para converterse en hidrocarburos similares ás gasolinas.

Outro dos procesos termoquímicos cos que se pode tratar a biomasa é a licuefacción. Este proceso é máis novo ca os comentados anteriormente e, en esencia, busca imitar as condicións xeolóxicas que tiveron lugar na Terra para producir petróleo. Na licuefacción á biomasa aplícase un gas redutor, normalmente monóxido de carbono ou hidróxeno, en presenza de catalizadores nunha solución acuosa a alta presión e temperaturas entre 300-500 °C. Mediante este procedemento as moléculas complexas de celulosa e de lignina poden romperse e o osíxeno que conteñen é substituído por hidróxeno, logrando unha mestura de hidrocarburos que ao arrefriarse condensan e forman un líquido que se pode empregar como biocombustible. Ademais, tamén se xera un residuo sólido que se pode empregar como fertilizante e tamén gran cantidade de auga que se desbota.

### 8.3.2. Procesos bioquímicos

Estes procesos empregan diversos tipos de microorganismos e axentes biolóxicos como as encimas para degradar as moléculas complexas da biomasa a compostos máis simples que se poden converter en combustibles líquidos e biogás. Os procesos bioquímicos máis comúns de transformación da biomasa son a dixestión anaerobia e a fermentación.

A dixestión anaerobia é un proceso biolóxico que engloba unha serie de reaccións químicas que teñen lugar a través de vías metabólicas naturais grazas á presenza dunha serie de microorganismos que, en ausencia de osíxeno, son capaces de descompoñer as macromoléculas orgánicas da biomasa en moléculas máis simples. A dixestión anaerobia engloba catro fases diferentes na que participan diferentes microorganismos: hidrólise, acidoxénese, acetoxénese e metanoxénese. O resultado final deste proceso é a xeración de biogás, que se compón principalmente de metano e dióxido de carbono, e un subproduto líquido chamado dixestato que se pode empregar como fertilizante. Como se mencionou anteriormente, as aplicacións do biogás son moi variadas. A biomasa máis común que se pode tratar en dixestores seguindo este proceso son os lodos de depuradora, residuos agrícolas, residuos sólidos urbanos e esterco animal.

O proceso de fermentación consiste nunha serie de reaccións bioquímicas polas cales azucres simples como as hexosas ou pentosas e o amidón poden converterse en etanol e CO<sub>2</sub>, baixo condicións

anaeróbicas, grazas a unha serie de microorganismos entre os que cabe destacar os lévedos. O etanol, coñecido tamén como bioetanol, pode empregarse como combustible para vehículos substituíndo á gasolina grazas ao seu alto índice de octanos. Así, pode usarse só ou en combinación coa gasolina.

Existen tres grandes grupos de biomasa aos que se lles pode aplicar a fermentación para obter etanol:

- Biomasa rica en azucres. Destacan neste grupo plantas como a remolacha ou a cana de azucre. Outros exemplos son o sorgo ou a mandioca.
- Biomasa rica en amidón. Esta categoría inclúe cereais como o millo, a cebada, o trigo ou a avea, entre outros, e tamén tubérculos como a pataca ou o boniato.
- Biomasa rica en celulosa. Inclúe diversos materiais como poden ser as madeiras, o bagazo da cana de azucre, residuos de palla de trigo, líquidos residuais da fabricación de papel ou a polpa da remolacha.

A biomasa rica en amidón e en celulosa require dun pretratamento, consistente nunha hidrólise, para transformala en compostos fermentables. A esta etapa sucédelle a propia fermentación e, posteriormente, unha destilación para separar o etanol do resto da mestura líquida.

### 8.3.3. Procesos físico-químicos

A través dun proceso de esterificación e/ou transesterificación é posible transformar varios tipos de aceites vexetais e de graxas animais en biodiésel. Este biocombustible obtense a partir de biomasa rica en triglicéridos, sendo os aceites vexetais extraídos de sementes oleaxinosas os máis empregados. Cabe destacar os cultivos de soia e de colza como os máis empregados, tendo importancia tamén os de xirasol, palma ou millo, entre outros. Ademais, tamén se poden empregar graxas animais, aceites usados, aceites que proveñen de algas, etc.

A reacción de transesterificación ten lugar entre os triglicéridos contidos no aceite de partida e un alcohol de cadea curta, sendo o metanol o máis empregado. Para facer a reacción máis eficiente úsanse

distintos catalizadores e o produto final é unha mestura de ésteres de ácidos graxos, que é o contido principal do biodiésel. Como produto secundario tamén se obtén unha molécula de glicerina. O aceite de partida e o alcohol son elementos altamente inmiscibles, polo que é preciso regular ben a temperatura e a velocidade de axitación durante o proceso de obtención de biodiésel.

## **8.4. Lugares máis axeitados para instalar esta enerxía**

A xeración de enerxía a partir de biomasa faise no ámbito global principalmente a partir de biomasa sólida (87 %) e en menor medida a partir de biogás (2 %), de biocombustibles líquidos (6 %), de residuos municipais (3 %) e industriais (2 %), segundo os datos da Asociación Mundial de Bioenerxía do ano 2018.

A biomasa sólida é a maior fonte de enerxía renovable no mundo, xa que o seu uso para producir enerxía en forma de calor se ven empregando dende a Prehistoria. Seguindo os datos da Axencia Internacional de Enerxía, no ano 2017 aproximadamente o 70 % da enerxía que provén de fontes renovables correspóndese co uso de biomasa sólida. Esta fonte enerxética é especialmente importante nos países en vías de desenvolvemento. Así, en África máis do 90 % da enerxía primaria de fontes renovables provén da biomasa.

Atendendo á produción de enerxía eléctrica a partir de biomasa, Europa é o continente líder a pesar do rápido crecemento no continente asiático grazas principalmente ao pulo da India e China (figura 8.5a). Na última década, son moitas as centrais eléctricas de carbón que se transformaron para poder operar empregando biomasa.

Finalmente, en relación co uso de biocombustibles, pódese ver na figura 8.5b como o bioetanol é o biocombustible que conta cunha maior produción no ámbito mundial, sendo Brasil e EUA os que acaparan a maior parte dela, con aproximadamente o 87 %. Non obstante, Europa é líder en produción de biodiésel con aproximadamente o 44 % do total mundial, seguida de América do Sur co 37 %.

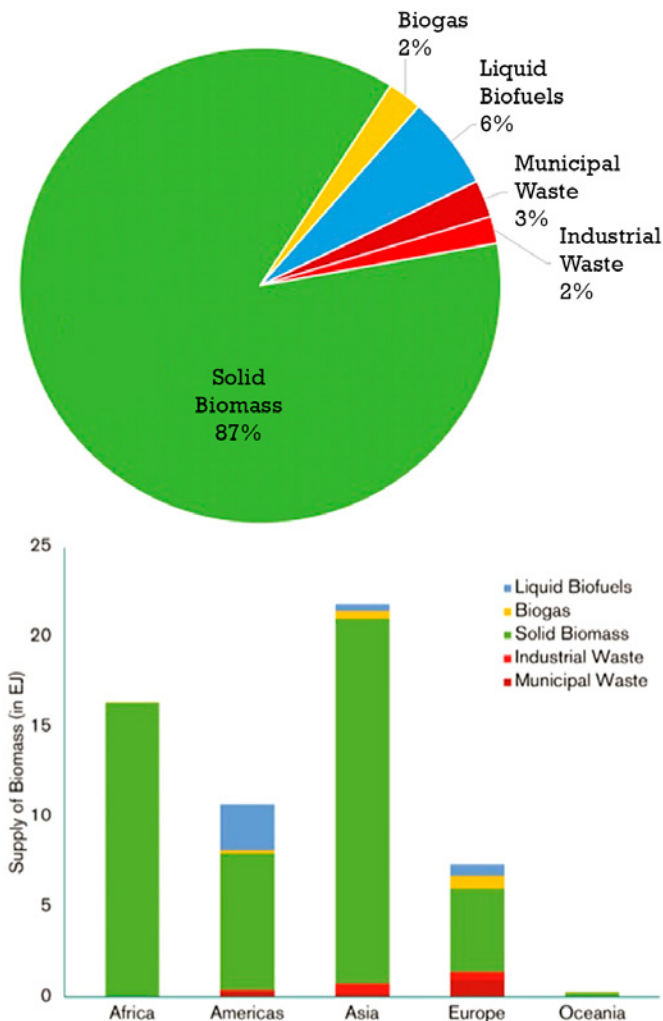


Figura 8.4. Subministración mundial total de energía primaria a partir de biomasa no año 2018. Fuente: World Bioenergy Association (2019)

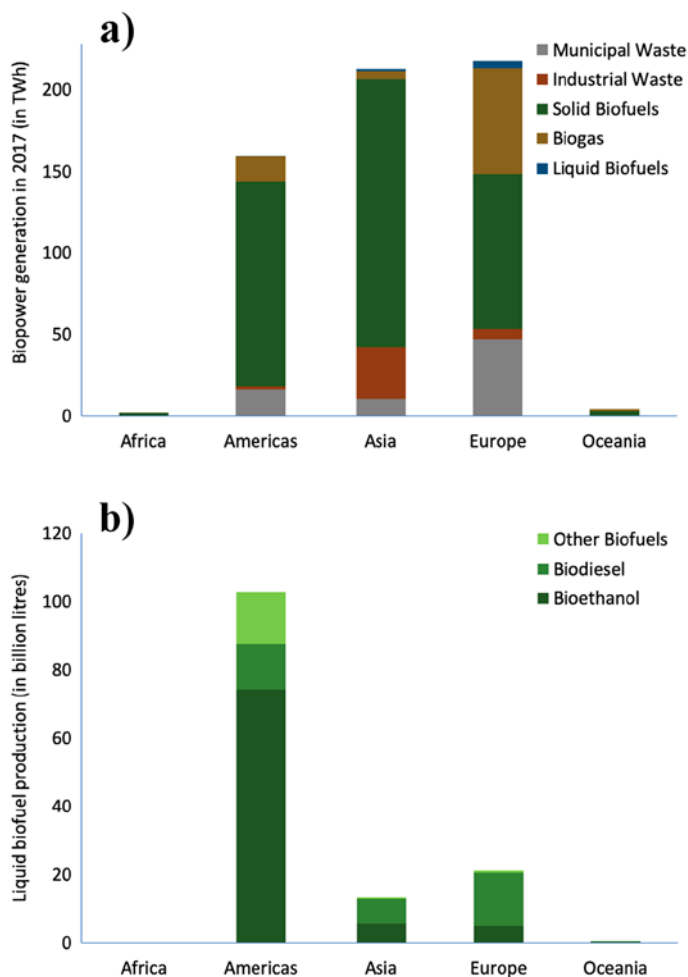


Figura 8.5. a) Electricidade (en TWh) producida a partir de biomasa en cada continente no ano 2017; b) Biocombustibles xerados a partir de biomasa no ano 2017. Fonte: World Bioenergy Association (2019)

## 8.5. Vantaxes e desvantaxes da enerxía a partir de biomasa

Vantaxes:

- Permite eliminar residuos orgánicos e inorgánicos de diferente procedencia (industria alimentaria, residuos agrícolas, lodos de depuradoras...) á vez que se lles dá unha utilidade.
- As emisións de gases de efecto invernadoiro como o CO<sub>2</sub> é neutra, xa que o que se emite durante a combustión foi tomado previamente da atmosfera para o crecemento das plantas.
- Considerando as diferentes fontes de biomasa sinaladas anteriormente, pode considerarse un recurso abundante e amplamente distribuído por todo o planeta.
- O aproveitamento da enerxía da biomasa pode considerarse económico comparado co petróleo ou co carbón.

Desvantaxes:

- O incremento dos cultivos destinados ao aproveitamento enerxético pode desprazar os cultivos destinados á alimentación, o que xa provocou nalgúns casos incrementos no prezo dalgúns cereais que poden comprometer a subministración de alimentos nalgúns países. Ademais, o incremento descontrolado destes cultivos tamén pode favorecer a deforestación de bosques.
- Algunha das fontes enerxéticas empregadas obtéñense a través de procesos relativamente complexos e que entrañan certa perigosidade no seu manexo. Por exemplo, o biogás contén gran concentración de metano, que é un gas de efecto invernadoiro moi potente, polo que calquera fuga pode ser perigosa.
- O poder calorífico da biomasa é baixo se se compara co dos combustibles fósiles; isto na práctica provoca que se precisen grandes espazos de almacenamento.





# Bibliografía consultada

## Capítulo 1. As enerxías renovables

Red Eléctrica de España, 2020. El sistema eléctrico español 2019. Ed. Red eléctrica de España, España, Madrid. <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2019>. Consultado el 02/09/2020.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), 2011. Plan de energías renovables 2011-2020. España, Madrid. Recuperado de: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>. Consultado o 04/07/2020.

## Capítulo 2. A enerxía solar

Guía IDAE 022: Guía Técnica de Energía Solar Térmica (edición v1.0), 2020. <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-de-energia-solar-termica>. Consultado o 28/07/2020.

Thirugnanasambandam, M., Iniyan, S. e Goic, R. (2010). A review of solar thermal technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(1), 312-322.

Photovoltaic Power Systems Programme, International Energy Agency (IEA), 2020. Snapshot of Global PV Markets. Report IEA-PVPS T1-37;2020. Ed: Gaëtan Masson, Becquerel Institute, Belgium.

## Capítulo 3. A enerxía eólica

WindEurope, 2020a. Wind energy in Europe in 2019. Trends and statistics. Recuperado de: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>

WindEurope, 2020b. Offshore Wind in Europe. Key trends and statistics 2019. Recuperado de: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2019.pdf>

## **Capítulo 5. A enerxía das ondas**

Drew B., Plummer AR, Sahinkaya M N. A review of wave energy converter technology Proc. IMechE 2009, 223 Part A: J. Power and Energy.

Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A. e Finlay, L., 2016. An International Vision for Ocean Energy. Version III. Recuperado de Ocean Energy Systems Technology Collaboration Programme: [www.ocean-energy-systems.org](http://www.ocean-energy-systems.org)

## **Capítulo 7. A enerxía xeotérmica**

Lu, S. M. (2018). A global review of enhanced geothermal system (EGS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2902-2921.

Olasolo, P., Juárez, M. C., Morales, M. P. e Liarte, I. A. (2016). Enhanced geothermal systems (EGS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 133-144.

Plataforma tecnológica española de geotermia (Geoplat), 2015. Análisis del sector de la energía geotérmica en España. Recuperado de: <https://www.geoplat.org/portfolio-items/portfolio-item-12/> . Consultado o 25/06/2020. Madrid, España.

IDAE, IGME. Manual de geotermia. IDAE, Madrid, 2008. URL: <https://www.igme.es/Geotermia/masinform.htm>. Consultado o 26/06/2020.

## **Capítulo 8. A enerxía da biomasa**

World Bioenergy Association. (2019). Global Bioenergy Statistics. 2019. Retrieved May, 29, 2020.

Tursi, A. (2019). A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal*, 6(2), 962-979.

IDAE, 2007. Energía de la Biomasa. Madrid, España.

## **Páxinas web consultadas**

### **Capítulo 2. A enerxía solar**

Energy Information Administration (IEA). Solar explained. Recuperado o 02/09/2020 de <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/>

Planas, Oriol. Célula fotovoltaica. <https://solar-energia.net/>. Recuperado o 02/09/2020 de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica>

Global Solar Atlas. Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/map>.

### **Capítulo 3. A enerxía eólica**

Asociación Empresarial Eólica, AEE, <https://www.aeeolica.org/>.

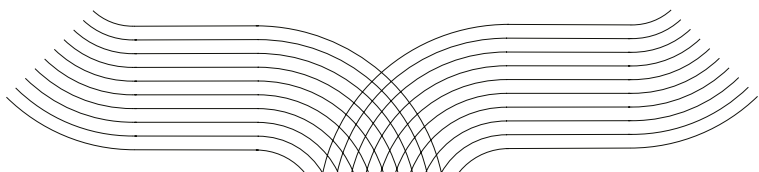
Aqua-RET, <http://www.aquaret.com/index-2.html>.

### **Capítulo 4. A enerxía hidráulica**

International Renewable Energy Agency, IRENA. <https://www.irena.org/>

### **Capítulo 8. A enerxía de biomasa**

Energy Information Administration (IEA). Biomass explained. Recuperado o 11/09/2020 de <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>.



# Esenciais

Breviarios de divulgación do saber

## Últimas publicacións na colección

*A ciencia política (2020)*  
Argimiro Rojo Sagrado

## Vindeiras publicacións na colección

*O cambio climático (2020)*  
Moncho Gómez Gesteira e Diego Fernández Nóvoa

*A astrofísica (2021)*  
Ana Ulla

*O feminismo (2021)*  
Beatriz Suárez Briones

*A linguaxe (2021)*  
Fernando Ramallo



9 7 8 - 8 4 - 8 1 5 8 - 8 7 3 - 6

## As enerxías renovables

As enerxías renovables son enerxías primarias que se renovan de forma natural. Proveñen da enerxía que chega ao noso planeta de forma continua pola acción da radiación solar ou da atracción gravitatoria da Lúa, polo que son fontes de enerxía inesgotables e limpas.

Son fundamentalmente: a enerxía solar, eólica, hidráulica, mariña (das ondas e da marea), da biomasa e xeotérmica. Estas fontes de enerxía son moi diversas e atópanse accesibles para ser explotadas en calquera parte do planeta. O desenvolvemento tecnolóxico fai que as enerxías renovables sexan cada vez máis competitivas permitindo aos países ser máis independentes dos combustibles fósiles.

Servizo de Publicacións

Universidade de Vigo

