

O porvir energético 2050 no horizonte

José Ramom Flores das Seixas



A Corunha, 5 de Maio de 2015

Que é a energia?

Energia é a capacidade de produzir a mudança dum sistema.

Pode ser de vários tipos:

- cinética,
- eléctrica,
- elástica,
- gravitacional,
- química,
- nuclear,
- radiante,
- térmica ...

A energia pode:

- transferir-se entre sistemas
- transformar-se (ex: química \rightarrow térmica \rightarrow eléctrica)

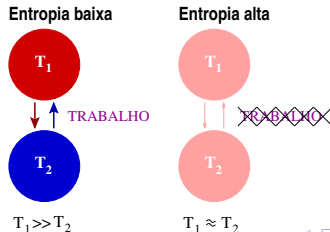
Leis da termodinâmica

Lei de conservação da energia

Nas mudanças dum sistema a matéria/energia nem se cria nem se destrói, transforma-se

Lei de incremento da entropia

Nas mudanças energéticas aumenta a entropia, i.e. a quantidade de energia inutilizável para produzir trabalho



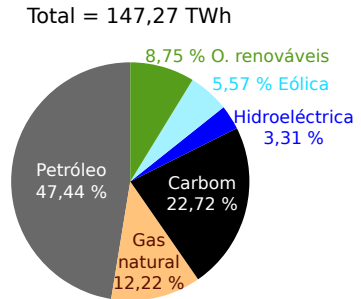
A civilização industrial utiliza grandes quantidade de energia

- Aquecimento e ar condicionado (química, eléctrica)
- Transporte (mecânica)
- Indústria (eléctrica, mecânica, térmica)
- Agricultura (mecânica)
- Telecomunicações (eléctrica)
- Iluminação (eléctrica)
- etc

Fontes de energia primária

A humanidade colheita energia, não a fabrica

- Combustíveis fósseis
- Hidroelétrica
- Eólica
- Solar
- Biomassa
- Nuclear
- etc



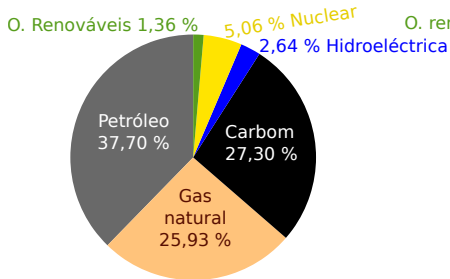
82,38 % Combustíveis fósseis

**Consumo energético
na Galiza (2012)**

Consumo energético em 2013

Dados do Banco Mundial

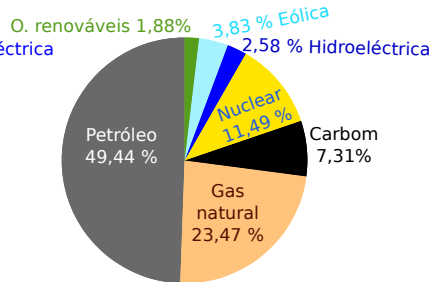
Total = 141,08 PWh



90,93 % C. Fósseis

Mundo

Total = 1436 TWh

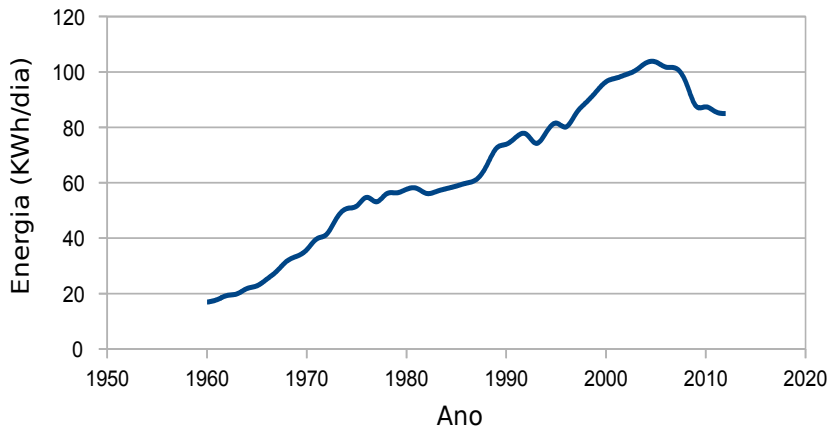


80,22 % C. Fósseis

Reino de Espanha

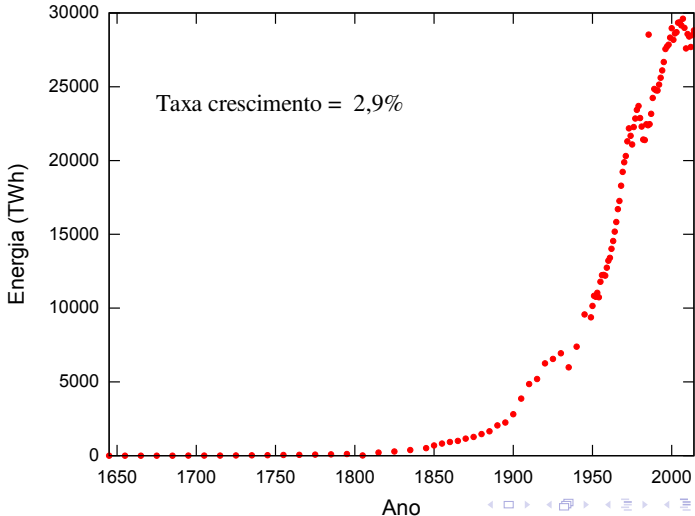
Consumo energético espanhol per capita e dia

Anos 1960 a 2013 (Dados do Banco Mundial)



Consumo energético anual dos EUA

Anos 1640 - 2014 (Dados da EIA)



Um modelo económico que precisa de crescimento

Para reduzir o desemprego precisa-se unha taxa de crescimento $> 3\%$

O crescimento histórico do PIB em Espanha

Período	Taxa média (%)
1850-1883	1,84
1883-1920	1,22
1920-1929	3,54
1929-1952	0,60
1952-1974	6,22
1974-2000	3,03
1850-2000	2,45

Leandro Prados, *El progreso económico de España, (1850-2000)*

Um modelo económico que precisa de crescimento

Para reduzir o desemprego precisa-se unha taxa de crescimento $> 3\%$

O crescimento histórico do PIB em Espanha

Período	Taxa media (%)
1850-1883	1,84
1883-1920	1,22
1920-1929	3,54
1929-1952	0,60
1952-1974	6,22
1974-2000	3,03
1850-2000	2,45

Leandro Prados, *El progreso económico de España, (1850-2000)*

Que implica uma taxa de crescimento constante?

Ano	3 %	6 %	9 %
0	100	100	100
1	103	106	109
2	106,1	112,4	118,8
5	115,9	133,8	153,9
8	126,7	159,4	199,26
12	142,6	201,2	281,3
16	160,5	254,0	397,0
20	180,6	320,7	560,4
24	203,3	404,9	791,1

$$PIB(n) = \left(1 + \frac{T}{100}\right)^n PIB(0)$$

$$TD = \frac{\ln 2}{\ln\left(1 + \frac{T}{100}\right)} \approx \frac{70}{T}$$

n = número de anos

T = Taxa de crescimento

TD = tempo de duplicação

Que implica uma taxa de crescimento constante?

Ano	3 %	6 %	9 %
0	100	100	100
1	103	106	109
2	106,1	112,4	118,8
5	115,9	133,8	153,9
8	126,7	159,4	199,26
12	142,6	201,2	281,3
16	160,5	254,0	397,0
20	180,6	320,7	560,4
24	203,3	404,9	791,1

$$PIB(n) = \left(1 + \frac{T}{100}\right)^n PIB(0)$$

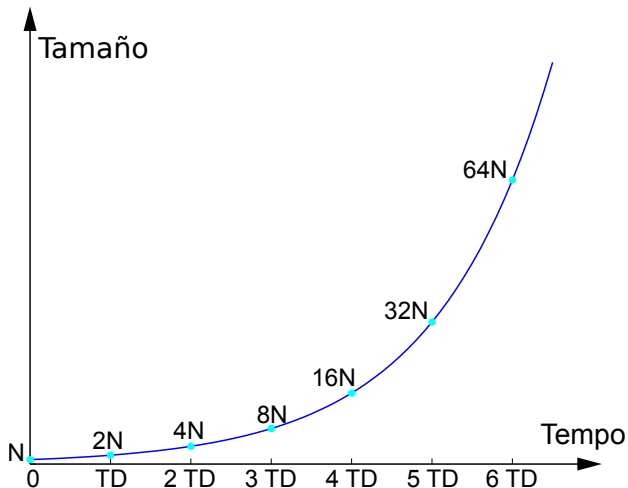
$$TD = \frac{\ln 2}{\ln\left(1 + \frac{T}{100}\right)} \approx \frac{70}{T}$$

n = número de anos

T = Taxa de crescimento

TD = tempo de duplicação

Crescimento con taxa de crescimento constante

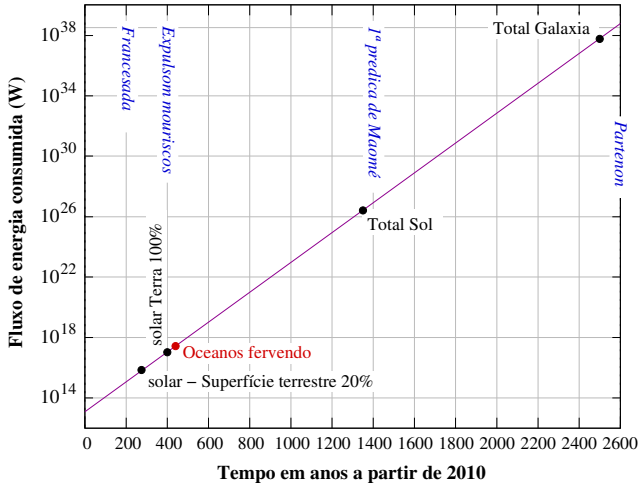


Um mundo finito



Consumo galáctico

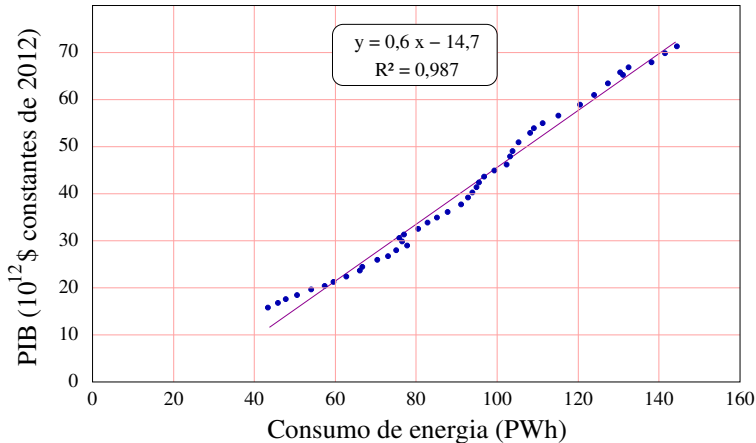
Do the math - Tom Murphy



Para a sociedade funcionar precisa energia

Dados: PIB do Banco Mundial, consumo dos BP - Statistic Review of World Energy

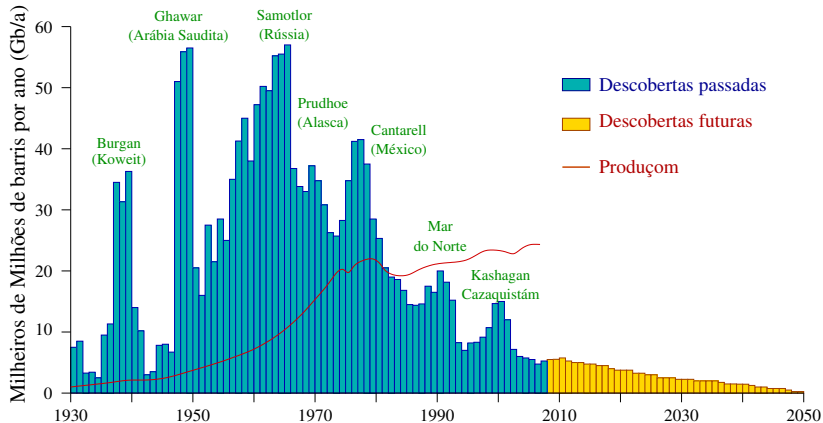
PIB vs consumo energético mundial, de 1965 a 2012.



Descobertas de jazigos de petróleo cru

Fonte: Aspó Ireland Newsletter 100 - Abril 2009

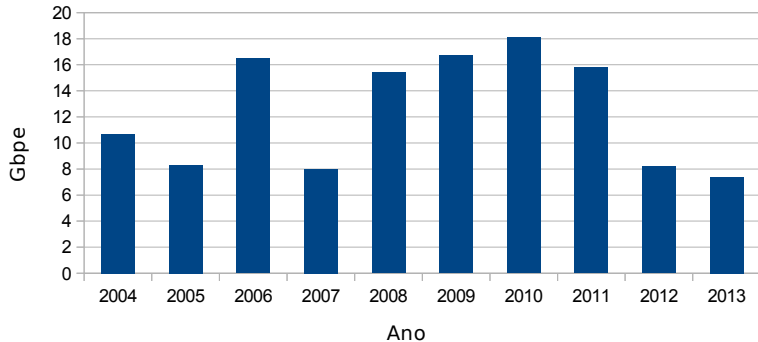
Petróleo convencional



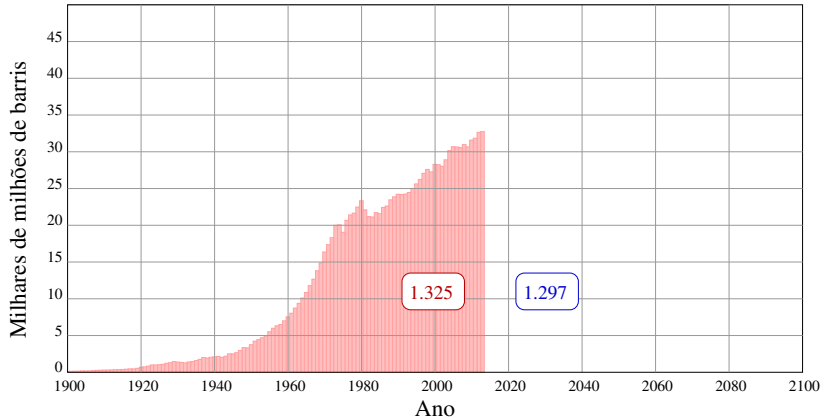
Descobertas de hidrocarbonetos líquidos

Fonte: O. Appert (2013), L'évolution des réserves en hydrocarbures: historique et tendances. La revue des Ingénieurs, InterMines, 11-13.

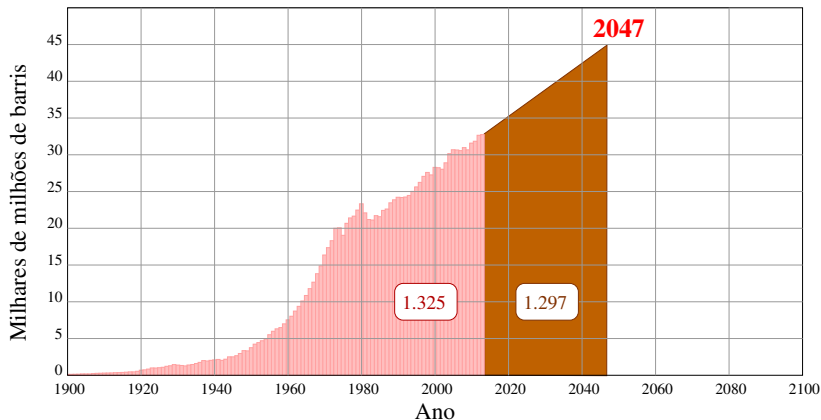
Descobertas de hidrocarbonetos líquidos



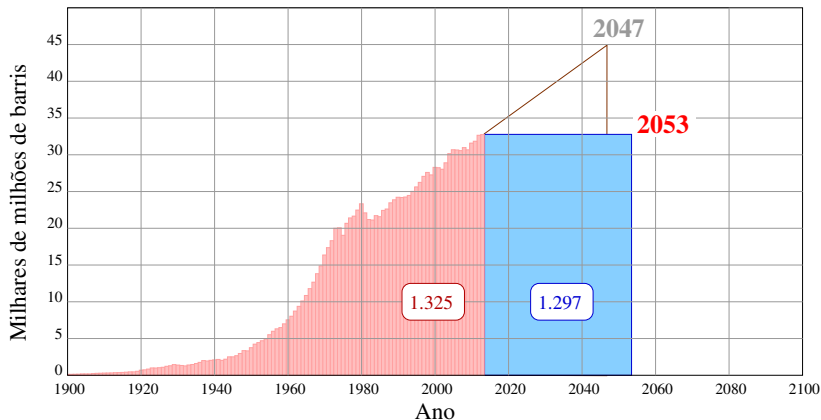
Extração mundial de petróleo



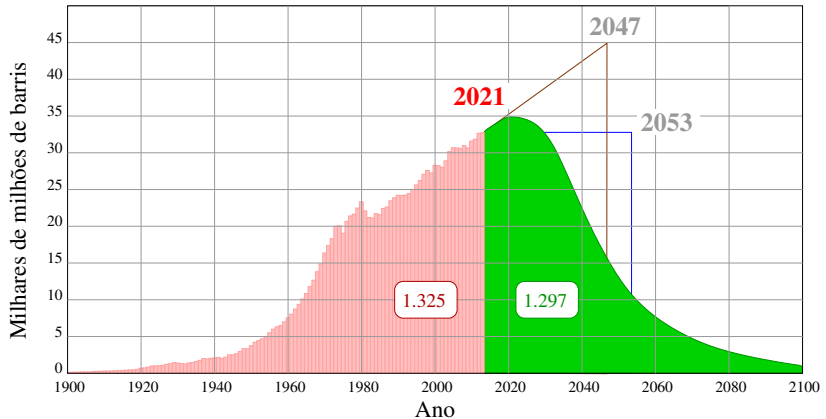
Extração mundial de petróleo



Extração mundial de petróleo



Extração mundial de petróleo



Energia neta e Taxa de Retorno Energético

- Energia útil do petróleo, E_u
- Energia investida para a extração, E_{in}
- A energia neta: $E_{net} = E_u - E_{in}$

- Taxa de Retorno Energético: $TRE = \frac{E_u}{E_{in}}$

- $E_{net} (\%) = \frac{E_u - E_{in}}{E_u} \cdot 100 = \left(1 - \frac{1}{TRE}\right) \cdot 100$

- $TRE = \frac{100}{100 - E_{net} (\%)}$

Energia neta e Taxa de Retorno Energético

- Energia útil do petróleo, E_u
- Energia investida para a extração, E_{in}
- A energia neta: $E_{net} = E_u - E_{in}$
- Taxa de Retorno Energético: $TRE = \frac{E_u}{E_{in}}$
- $E_{net} (\%) = \frac{E_u - E_{in}}{E_u} \cdot 100 = \left(1 - \frac{1}{TRE}\right) \cdot 100$
- $TRE = \frac{100}{100 - E_{net} (\%)}$

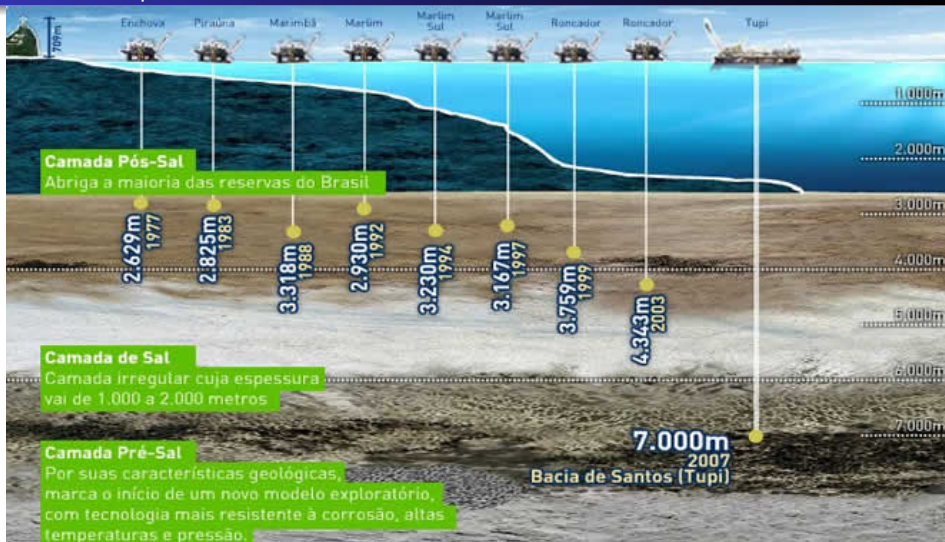
Evolução da TRE do petróleo

Murphy D.J. (2014). The implications of the declining energy return on investment of oil production. *Phil. Trans. R. Soc. A* **372**:20130126.

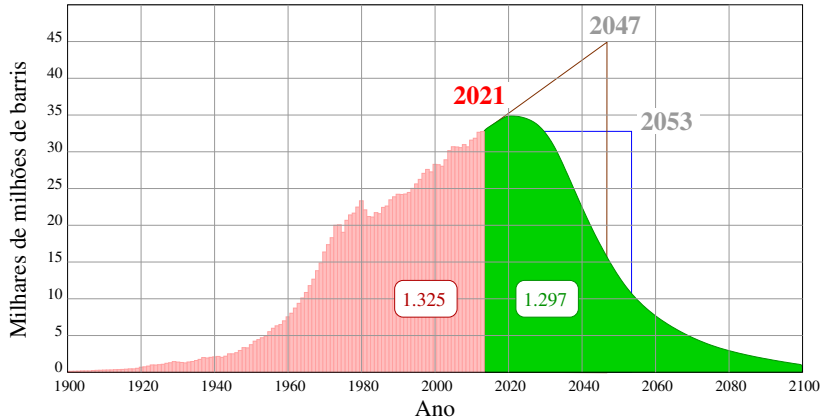
Petróleo	TRE média	E_{net}
EUA nos 1930s	100	99%
EUA nos 1970s	20	95%
Mundo em 2000	30	97%
EUA nos 2014	11	91%
Mundo em 2014	17	94%
Augas ultra-profundas	<10	<90%
Areas bituminosas	5	80%
Petróleo de xistos	1,5	33%

Exploração de petróleo offshore no Brasil

Aumenta a profundidade ⇒ diminui a TRE



Petróleo: Quanta energia neta fica?



Gas natural e carvão

Dados: BP Statistical Review of World Energy June 2014

	Gas Natural	Carvão
TRE _{ST}	18	55
TRE _e	7	18
Reservas 2013	185,7 Tm ³	891,5 Gt
Consumo tendencial	39 anos	78 anos
Consumo constante 2013	51 anos	188 anos
Transporte	Gasodutos, GNL	Pouco cómodo
Poluente	Pouco: CO ₂	Muito: CO ₂ ++, SO ₂ , NO _x , Hg, ...
Combustível para transporte	Médio	Difícil

Mudanças climáticas

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

- **2°C** ← limite do aumento da temperatura global
- Aumento sobre a temperatura preindustrial (até agora é 0,8°C)
- 50% probabilidade se as emissões < 1 100 Gt CO₂e

Para manter-se dentro dos limites¹

- **33 %** das reservas de petróleo
- **50 %** das reservas de gás natural
- **80 %** das reservas de carvão

deveriam permanecer sem extrair no período 2011 a 2050

¹McGlade C & Ekins P (2015), The geographical distribution of fossil fuel unused when limiting global warming to 2°C, Nature 517, 187-190.

Transição energética

É possível substituir os combustíveis fósseis?

± Abundantes

- Nuclear
- Hidráulica
- Eólica
- Biomassa
- Solar eléctrica
- Solar térmica

Nicho

- Geotérmica
- Mareomotriz
- Ondomotriz

Cenários energéticos para a Galiza em 2050

É possível umha Galiza sem emitir gases de efeito estufa?

Consumo galego em 2012

Global =	73,6 TWh/ano	⇒	201 GWh/dia
Per capita =	26,6 MWh/ano	⇒	72,7 kWh/dia

Consumo global galego em 2050 (GWh/dia)

Populaçom (projeções do IGE)	1 762 000	2 428 000	3 304 000
Consumo = $73 \frac{kWh}{pessoa\ dia}$	129	177	241
Consumo = $186 \frac{kWh}{pessoa\ dia}$	328	452	614

Cenários energéticos para a Galiza em 2050

É possível umha Galiza sem emitir gases de efeito estufa?

Consumo galego em 2012

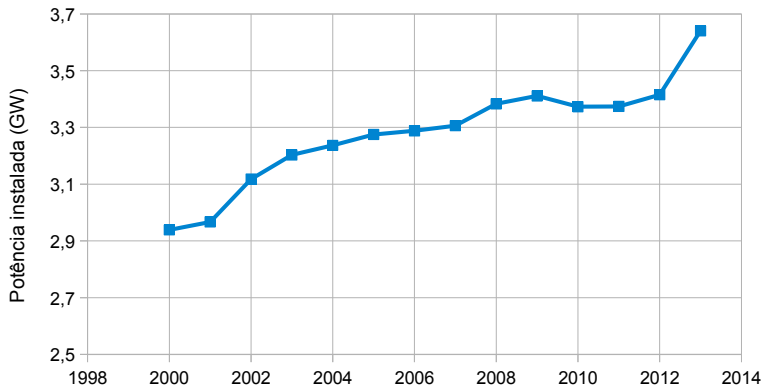
Global =	73,6 TWh/ano	⇒	201 GWh/dia
Per capita =	26,6 MWh/ano	⇒	72,7 kWh/dia

Consumo global galego em 2050 (GWh/dia)

Populaçom (projeções do IGE)	1 762 000	2 428 000	3 304 000
Consumo = $73 \frac{kWh}{pessoa\ dia}$	129	177	241
Consumo = $186 \frac{kWh}{pessoa\ dia}$	328	452	614

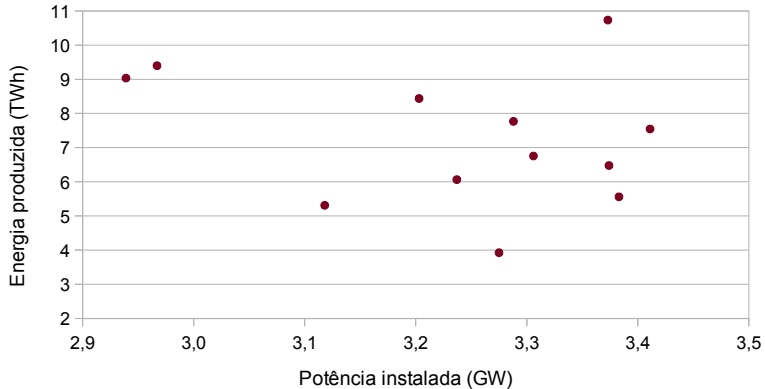
Potência hidráulica instalada na Galiza

Fonte: INEGA



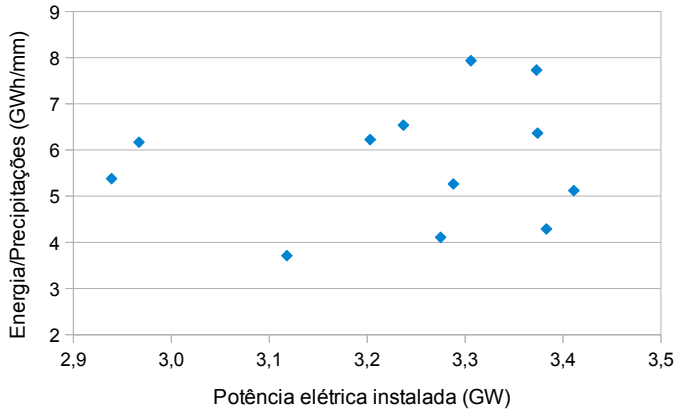
Não se pode produzir muita mais energia hidroelétrica

Energia média produzida nos últimos anos = 7,25 TWh/a



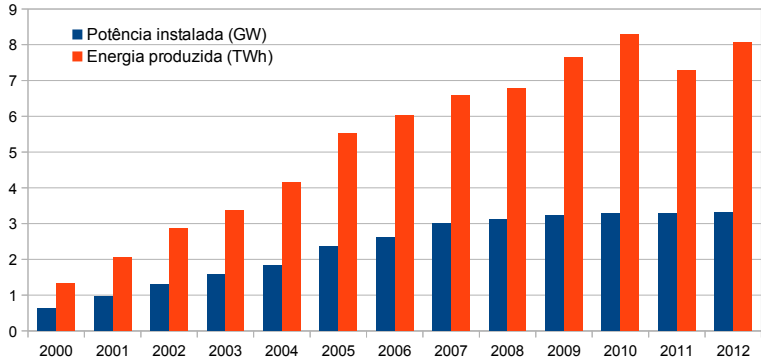
Energia hidroeléctrica/precipitações vs Potência instalada

Nom se aprecia que haja correlaçom



Produção eólica na Galiza

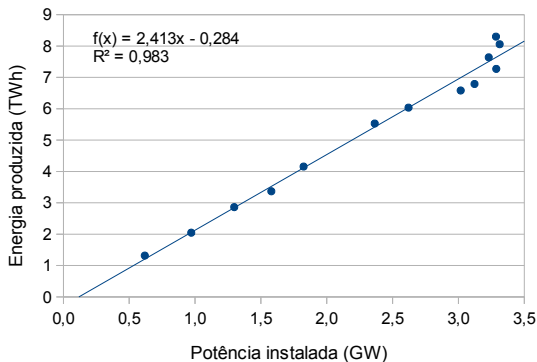
Electricidade de origem eólico



Potencial eólico da Galiza

- **Evaluación del potencial de las fuentes de energía renovables (PER 2011-2020) - IDAE**
 - potencial galego = 95-105 TWh/a
 - O estudo non tem em conta a *lei de conservação da energia*
- De Castro C, Mediavilla M, Miguel L.J e Frechoso F. (2011). **Global wind power potential: Physical and technological limits.** *Energy Policy* 39, 6677-6682.
 - 8 760 TWh/a em todo o mundo
 - A Galiza tocaríam-lhe apenas 2,54 TWh/a

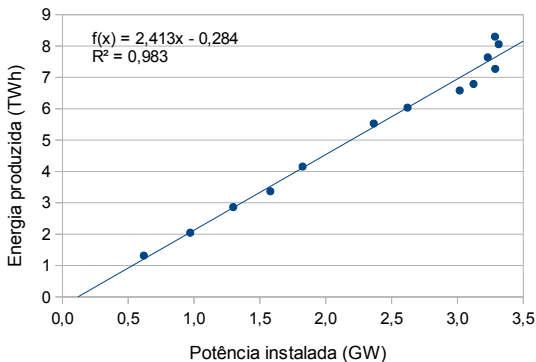
Potencial eólico da Galiza



Energia eólica global (camada inferior da atmosfera) = 876 PWh/a

Correspondem à Galiza = 51 TWh/a aproveitáveis = 17 TWh/a

Potencial eólico da Galiza



Energia eólica global (camada inferior da atmosfera) = 876 PWh/a

Correspondem à Galiza = 51 TWh/a aproveitáveis = **17 TWh/a**

Quanta energia adicional precisamos?

$$\begin{array}{rcl} \text{Hidroelétrica} & = & 7 \text{ TWh/a} \\ \text{Eólica} & = & 17 \text{ TWh/a} \\ \text{Biomassa} & = & 10 \text{ TWh/a} \\ \hline \text{Total} & = & 34 \text{ TWh/a} \end{array} \Rightarrow 93 \text{ GWh/d}$$

Energia adicional em 2050 (GWh/dia)

População	Baixa	Tendencial	Alta
Consumo constante	36	84	148
Consumo crescente	142	359	521

Quanta energia adicional precisamos?

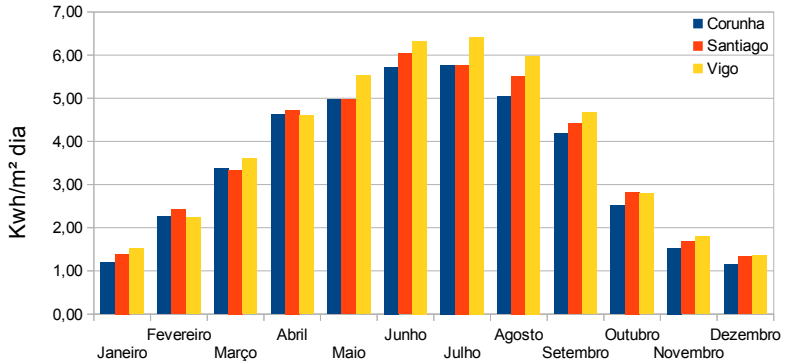
Hidroelétrica =	7 TWh/a	
Eólica =	17 TWh/a	
Biomassa =	10 TWh/a	
<hr/>		
Total =	34 TWh/a	⇒ 93 GWh/d

Energia adicional em 2050 (GWh/dia)

População	Baixa	Tendencial	Alta
Consumo constante	36	84	148
Consumo crescente	142	359	521

Insoleção diária na Galiza

A insoleção média = 3,71 kWh/m² dia = 3,71 GWh/km² dia



Superfície solar

- $P_S = I \cdot \rho_e \cdot S_S \Rightarrow S_S = \frac{P_S}{I \cdot \rho_e}$
- 2012 $\rho_e = 0,125 \cdot 0,67 \cdot 0,207 = 0,017$
- 2050 $\rho_e = 0,20 \cdot 0,80 \cdot 0,50 = 0,080$

Superfície solar em 2050

			$\rho_e = 0,017$	$\rho_e = 0,08$		
Pop.	Consumo	$P_S (GWh/d)$	$S_S (km^2)$	$S_S (%)$	$S_S (km^2)$	$S_S (%)$
Baixa	Cte	36	571	1,9	121	0,4
Tend.	Cte	84	1 332	4,5	283	0,9
Tend.	Cresc	359	5 692	19	1 210	4,1
Alta	Cresc	521	8 261	28	1 755	5,9

Pontos por resolver

- Escasseza de materiais (Ag, Cu, Nd, ...)
- Custos (instalação solar)
 - ~ 45 - 630 % do PIB(2014)
 - ~ 3 - 14 % do PIB anualmente
- Hidráulica, eólica, fotovoltaica → electricidade
 - Calor: bombas de calor, solar térmica
 - Transporte: trens eléctricos, trolebuses, carros eléctricos
- Eólica e Solar, fontes intermitentes
 - Baterias: caras, tempo de armazenamento curto
 - Encoros: bombeio de agua para cima, tempo de armazen. médio
 - Falta armazen. a longo prazo (Hidrogénio ou Gás natural)

Pontos por resolver

- Escasseza de materiais (Ag, Cu, Nd, ...)
- Custos (instalação solar)
 - ~ 45 - 630 % do PIB(2014)
 - ~ 3 - 14 % do PIB anualmente
- Hidráulica, eólica, fotovoltaica → electricidade
 - Calor: bombas de calor, solar térmica
 - Transporte: trens eléctricos, trolebuses, carros eléctricos
- Eólica e Solar, fontes intermitentes
 - Baterias: caras, tempo de armazenamento curto
 - Encoros: bombeio de água para cima, tempo de armazen. médio
 - Falta armazen. a longo prazo (Hidrogénio ou Gás natural)

Pontos por resolver

- Escasseza de materiais (Ag, Cu, Nd, ...)
- Custos (instalação solar)
 - ~ 45 - 630 % do PIB(2014)
 - ~ 3 - 14 % do PIB anualmente
- Hidráulica, eólica, fotovoltaica → electricidade
 - Calor: bombas de calor, solar térmica
 - Transporte: trens eléctricos, trolebuses, carros eléctricos
- Eólica e Solar, fontes intermitentes
 - Baterias: caras, tempo de armazenamento curto
 - Encoros: bombeio de água para cima, tempo de armazen. médio
 - Falta armazen. a longo prazo (Hidrogénio ou Gás natural)

Pontos por resolver

- Escasseza de materiais (Ag, Cu, Nd, ...)
- Custos (instalação solar)
 - ~ 45 - 630 % do PIB(2014)
 - ~ 3 - 14 % do PIB anualmente
- Hidráulica, eólica, fotovoltaica → electricidade
 - Calor: bombas de calor, solar térmica
 - Transporte: trens eléctricos, trolebuses, carros eléctricos
- Eólica e Solar, fontes intermitentes
 - Baterias: caras, tempo de armazenamento curto
 - Encoros: bombeio de agua para cima, tempo de armazen. médio
 - **Falta armazen. a longo prazo (Hidrogénio ou Gás natural)**

Conclusões

- 1 O nosso planeta é finito
 - Num mundo finito não é possível o crescimento constante
 - Estamos a bater já com os limites biofísicos da Terra
 - Cumpre adaptar-se as novas circunstâncias
- 2 Cumpre mudar a matriz energética do país
 - Usando fontes de energias renováveis
 - O processo não vai ser fácil
 - Sem planificação vai ser impossível

Conclusões

- 1 O nosso planeta é finito
 - Num mundo finito não é possível o crescimento constante
 - Estamos a bater já com os limites biofísicos da Terra
 - Cumpre adaptar-se as novas circunstâncias
- 2 Cumpre mudar a matriz energética do país
 - Usando fontes de energias renováveis
 - O processo não vai ser fácil
 - Sem planificação vai ser impossível