

Criterios para la elaboración y análisis de escenarios energéticos sostenibles

Escenario Sostenible

Apellidos, nombre	Elisa Peñalvo ¹ (elpealpe@upvnet.upv.es) Javier Cárcel ² (fracarc1@csa.upv.es) Clara Andrada ¹ (claanmon@upv.es)
Departamento	¹ Instituto de Ingeniería Energética ² Instituto de Tecnología de Materiales
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Introducció

La Planificació Energètica se serveix generalment de Escenari Energètics com a eina d'anàlisi per avaluar el impacte de distintes alternatives i solucions energètiques.

El escenari sostenible és un escenari exploratori que permet identificar i avaluar el impacte de distintes alternatives energètiques a les ja existents. Normalment, este escenari se compara amb un escenari continuista o BAU (Business As Usual).

2 Objectius

- Entendre el mètode d'anàlisi prospectiu basat en escenaris energètics que permeti explorar distintes alternatives energètiques que conllenen a la societat cap a un futur sostenible.
- Dar una visió general dels sectors desenvolupats en un país i la seua evolució dins d'un escenari sostenible.
- Comprendre els conceptes d'energia primària i energia final.
- Entendre les mesures energètiques necessàries per a la consecució d'un escenari energètic sostenible.

3 Desenvolupament

A continuació, s'explicarà com definir i avaluar un escenari sostenible, on es poden analitzar distintes alternatives i estratègies energètiques, com la integració del vehicle elèctric, augment de participació de les energies renovables en el mix energètic del país, etc. Finalment, el escenari sostenible se compara amb un escenari tendencial (Business As Usual) per avaluar la evolució dels distintos indicadors energètics.

3.1 Elaboració del escenari sostenible

A partir de les hipòtesis definides per a l'anàlisi BAU, se definirà un nou Escenari Sostenible que té com a objectiu explorar distintes alternatives i/o solucions energètiques en cerca de la sostenibilitat.

Este objectiu se pot llevar a terme amb mesures individuals, com seria la substitució parcial d'una font fòssil per una renovable, el que implicaria una disminució d'emissions. O se poden llevar a terme, mesures combinades on s'analitzen distintes mesures al mateix temps. Un exemple pot ser un % de substitució del petroli en el transport per biocombustibles (energies renovables) i la substitució de vehicles convencionals per altres elèctrics, una vegada s'haja augmentat la contribució de les energies renovables en el mix de generació elèctrica del país.

Per al cas d'Espanya, per exemple, s'ha marcat com a objectiu millorar la sostenibilitat energètica en el sector transport i aconseguir un 25% de contribució de les energies renovables per al 2030. Partint de les hipòtesis definides en el BAU, la mesura a explorar és:

- Introducció d'un 1% anual de substitució del petroli per biocombustible en el sector del transport.

En la figura 1 que se presenta a continuación se puede observar para el año 2013 cómo evoluciona cada sector una vez introducida la medida en la hoja de cálculo.

Por un lado, en verde, se encuentra la energía nuclear que se mantiene constante. Su demanda es cubierta por las energías renovables. Por otro lado, en azul, se presenta en el sector transporte la sustitución del petróleo por energías renovables. En color rojo se representa la generación de electricidad mediante fuentes renovables, que en este caso, no se ha modificado.

AÑO	2013							
	población	PIB	Industria	transporte	servicios	Doméstico	agric.y pesca	
Ritmo anual crecimiento	0,7	2,0	0,2	1,4	4,8	2,3	2,1	
Total crecimiento para el periodo	1,007	1,020	1,002	1,014	1,048	1,023	1,021	
Total	47,11	1483						
	CONTRIBUCIÓN (ktep)							
SECTOR	Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Industria	ktep	6.244	712	3.473	8.458	1.271	0	20.159
	%	31	4	17	42	6	0	25
Transporte	ktep	389	0	27.303	125	2.157	0	29.973
	%	1	0	91	0	7	0	38
Servicio	ktep	7.229	1	1.475	1.694	119	0	10.518
	%	69	0	14	16	1	0	13
Doméstico	ktep	6.607	113	2.803	3.589	2.762	0	15.875
	%	42	1	18	23	17	0	20
Agric.y Pesca	ktep	351	0	1.689	645	75	0	2.760
	%	13	0	61	23	3	0	3
Gen. Electricidad	ktep		13.348	3.391	11.394	10.255	16.019	54.406
	%		25	6	21	19	29	
Total fuente	ktep	20.820	14.174	40.133	25.906	16.639	16.019	
Saldo eléctrico	ktep	-963						
Electricidad generada	ktep	21.783						
Total E. Primaria	ktep							111.908
	%							
Total E Final	ktep							79.285

Figura 1: Datos del Escenario Sostenible en España para 2013

Con todo ello, se puede calcular cual es la contribución de las energías renovables, puesto que el objetivo principal era alcanzar un 25% para 2030. Se calculará de la forma siguiente, estando los datos en la figura 1 destacados mediante un círculo amarillo.

$$\%ER = \frac{\text{Total E. renovables}}{\text{Total E. fuente primaria}} \times 100 = \frac{16639}{111908} \times 100 = 15\%$$

Seguidamente, se continuará sustituyendo en un 1% anual el petróleo por biocarburantes, de manera que para el 2030 se haya conseguido el objetivo. A continuación, se muestra los datos del 2030 una vez implementada la medida anualmente en el periodo 2012-2030.

AÑO		2030							
		Población	PIB	Industria	Transporte	Servicios	Doméstico	Agric.y pesca	
Ritmo anual crecimiento		0,7	2,0	0,2	1,4	4,8	2,3	2,0	
Total crecimiento para el periodo		1,037	1,106	1,010	1,074	1,264	1,121	1,104	
Total		52,658	1667						
SECTOR		CONTRIBUCIÓN (ktep)							
		Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Industria	ktep	6.453	736	3.601	8.741	1.316	0	20.846	19
	%	31	4	17	42	6	0		
Transporte	ktep	495	0	28.947	159	8.601	0	38.202	35
	%	1	0	76	0	23	0		
Servicio	ktep	16.045	2	3.273	3.759	265	0	23.345	21
	%	69	0	14	16	1	0		
Doméstico	ktep	9.747	166	4.136	5.295	4.036	0	23.380	21
	%	42	1	18	23	17	0		
Agric.y Pesca	ktep	491	0	2.362	903	104	0	3.861	4
	%	13	0	61	23	3	0		
Gen. Electricidad	ktep		20.953	5.323	17.887	25.221	16.019	85.402	
	%		25	6	21	30	19		
Total fuente	ktep	33.232	21.857	47.641	36.743	39.544	16.019		
Saldo eléctrico	ktep	-963							
Electricidad generada	ktep	34.195							
Total E. Primaria	ktep							160.841	
	%	-1	14	30	23	25	10		
Total E Final	ktep							109.634	

Figura 2: Datos del Escenario Sostenible en España para 2030

En la figura 2 se presenta el escenario sostenible para 2030. Se puede observar que se sigue manteniendo constante la energía nuclear, el sector del transporte ha aumentado considerablemente su demanda de renovables (23%) a razón de un 1% anual. La producción por las energías renovables ha crecido considerablemente de forma que se obtiene:

$$\%ER = \frac{\text{Total E. renovables}}{\text{Total E. fuente primaria}} \times 100 = \frac{39544}{160841} \times 100 = 25\%$$

Siendo la contribución de energías renovables un 25% se alcanza el objetivo que se había planteado para el escenario sostenible.

3.2 Generación de resultados

Una vez obtenido el escenario sostenible, se representan los resultados de manera gráfica para que sean más visuales. Las gráficas que se representen mostrarán cuál ha sido la evolución del país al implementar las medidas de sostenibilidad energética.

Continuando con el ejemplo de España, a continuación, se muestran las diferentes gráficas:

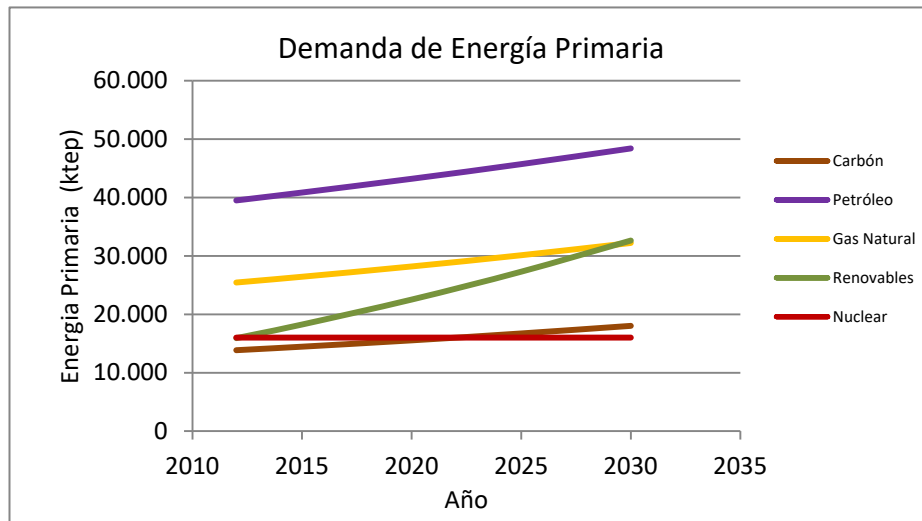


Figura 3: Evolución de la demanda de energía primaria para el escenario sostenible

En la figura 3 se puede ver cómo ha afectado la incorporación de las medidas a la contribución de cada fuente de energía a cada sector de demanda. La aportación absoluta de energía nuclear se mantiene constante con respecto a 2012, mientras que las renovables crecen mucho más que cualquier otra debido a que éstas absorben el incremento de demanda que debería de cubrir la nuclear. La demanda del petróleo, a pesar de disminuir un 1% anual, continúa aumentando, dado que el ritmo de crecimiento es mayor a la reducción aplicada.

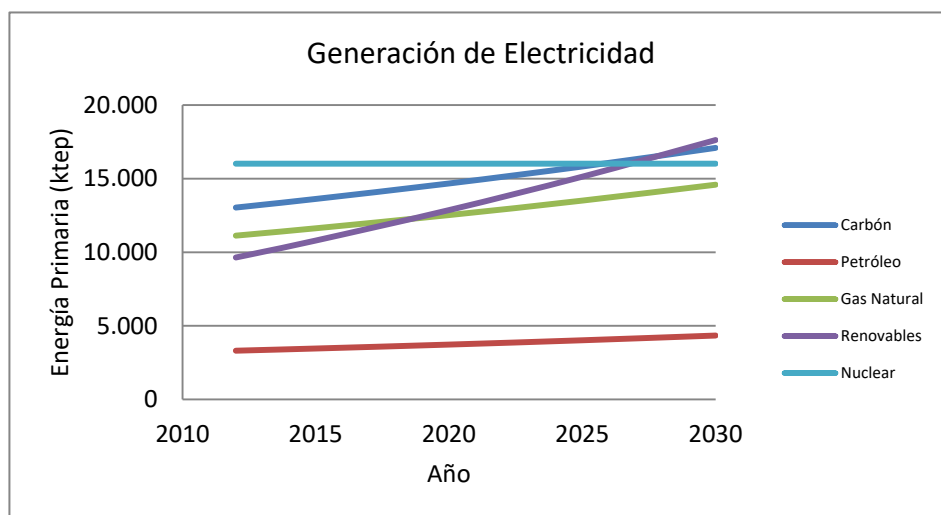


Figura 4: Generación de electricidad según el escenario sostenible

La generación de electricidad mediante energías renovables aumenta considerablemente, como se puede observar en el aumento de la pendiente de la recta. La energía nuclear permanece constante tal y como se había planificado y el petróleo sufre un aumento muy gradual. Sin embargo, el carbón continúa creciendo, aunque por debajo de las energías renovables.

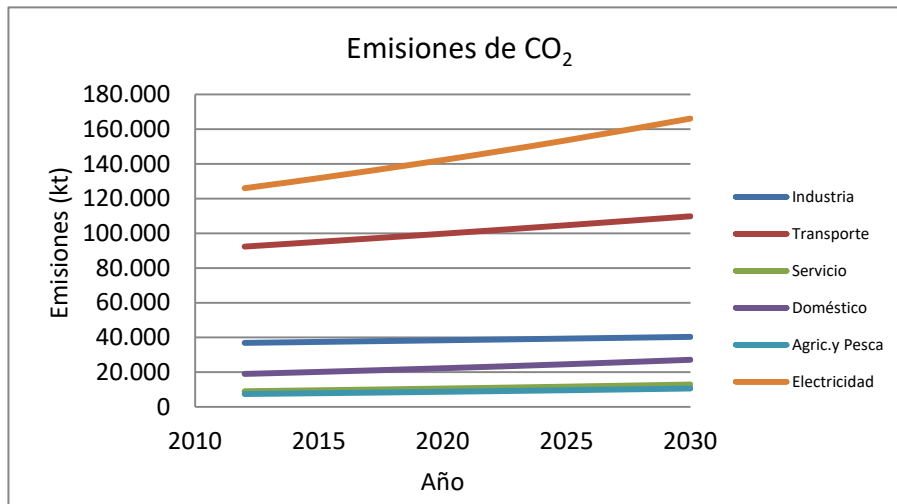


Figura 5: Emisiones de CO₂ por sectores en el escenario sostenible

El principal responsable de las emisiones de CO₂ en el país es el sector transporte, seguido por la generación de electricidad. Industria, Residencial, Servicios y Agricultura y Pesca se mantienen de acuerdo a los ritmos de crecimiento aplicados y que fueron estimados en base a datos históricos.

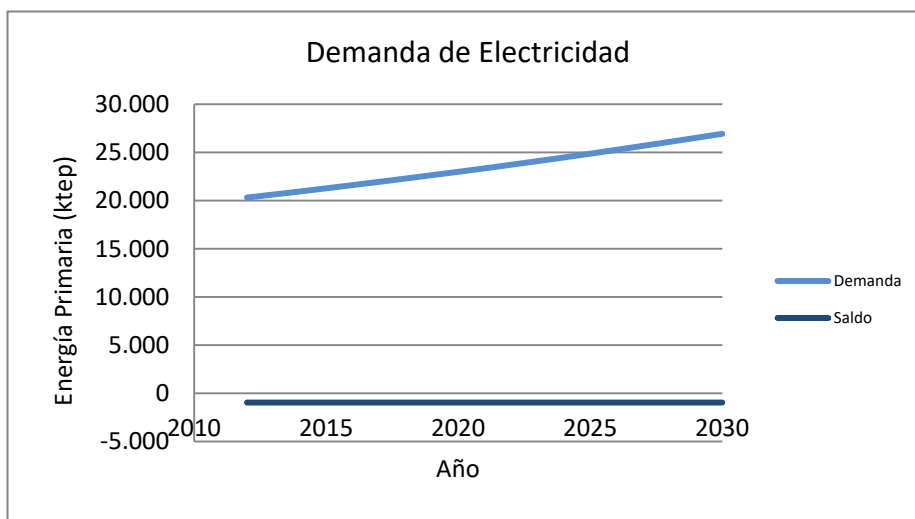


Figura 6: Evolución de la demanda de electricidad en el escenario sostenible

La figura 6 muestra el saldo eléctrico constante, tal y como cabría esperar de acuerdo a la hipótesis de partida planteada. Además, se puede observar que es negativo, por lo que se exporta más electricidad de la que se importa.

También es importante mostrar la evolución de los indicadores ya que de una forma muy simplificada muestran cómo evoluciona el país. En la figura está representada la evolución de las toneladas de petróleo equivalente per cápita (ktep_{EP}/hab), las

emisiones de CO₂ eq. per cápita (tonCO₂ eq./hab) y per energía primaria (tonCO₂ eq./ktep_{EP}), así como la demanda de electricidad per cápita (kWh/hab).

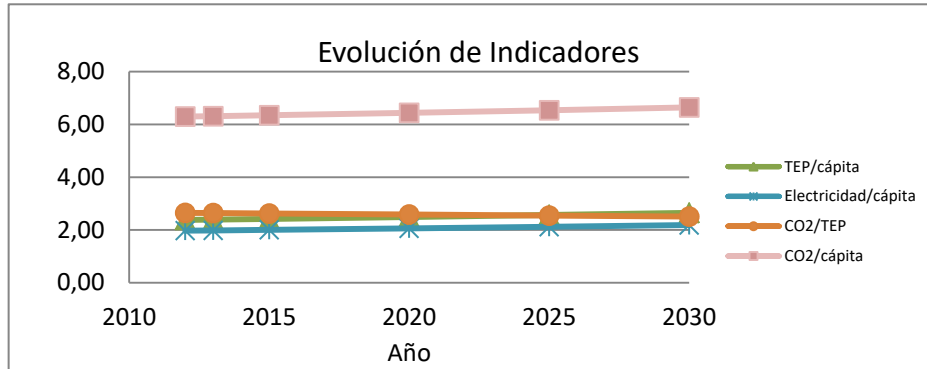


Figura 7: Evolución de los indicadores en el escenario sostenible

En la figura 8 se muestra la evolución de energía primaria y final a lo largo del periodo de estudio, así como la dependencia exterior, que disminuye a lo largo del tiempo debido a que se reduce la dependencia del petróleo, el cual es importado.

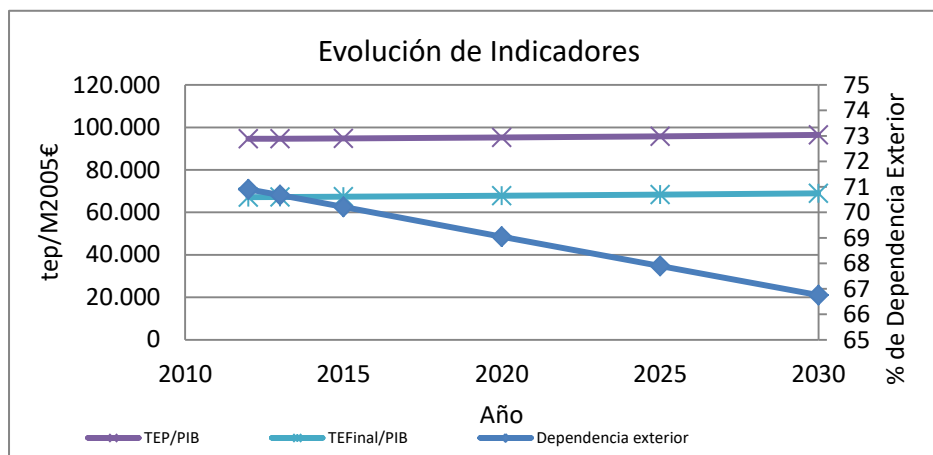


Figura 8: Evolución de los indicadores en el escenario sostenible

3.3 Comparación de resultados

En último lugar, se deben comparar los resultados obtenidos en el análisis BAU con los del escenario sostenible. Por esta razón es muy útil el uso de gráficas, ya que de esta forma es mucho más visual el análisis y más sencillo. Por un lado, el análisis BAU mostrará un escenario continuista para el 2030. Con el escenario sostenible se explora la alternativa de sustituir poco a poco el petróleo en el transporte por fuentes más limpias como son los biocarburantes, basados en fuentes renovables.

En el caso de España, se han comparado los indicadores de sostenibilidad en cada uno de los escenarios pudiendo ver así las principales diferencias que aportaría este nuevo escenario sostenible.

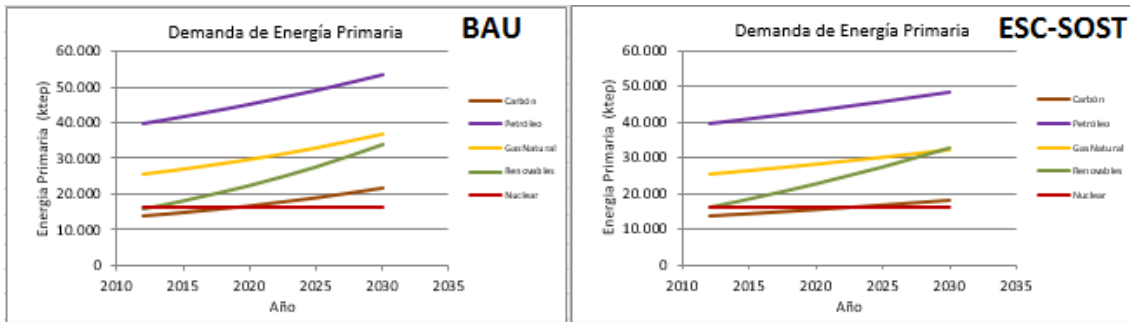


Figura 9: Comparación demanda de energía primaria

En la demanda de energía primaria se produce una disminución por parte de todas las fuentes de energía excepto para el caso de las renovables que aumenta y para la nuclear, que permanece constante.

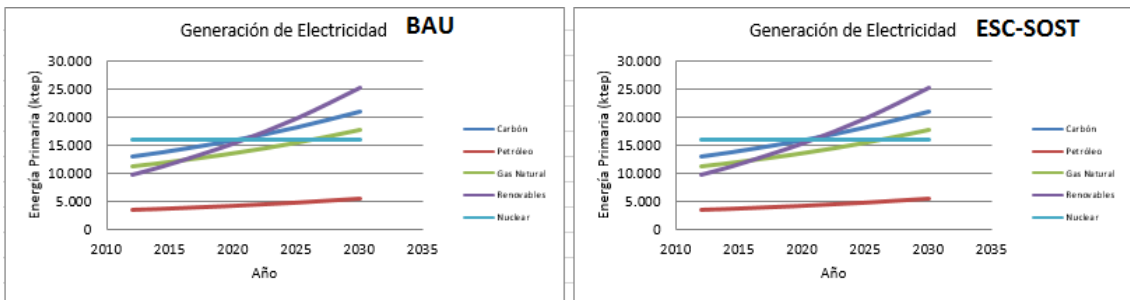


Figura 10: Comparación generación de electricidad

La generación de electricidad no experimenta cambios de un escenario a otro ya que no se introduce ninguna medida de generación de electricidad con renovables adicional en el escenario sostenible. Un ejemplo sería la introducción del coche eléctrico, en el que habría que eliminar un porcentaje del sector del transporte para el petróleo y destinarlo a la generación de electricidad con energías renovables.

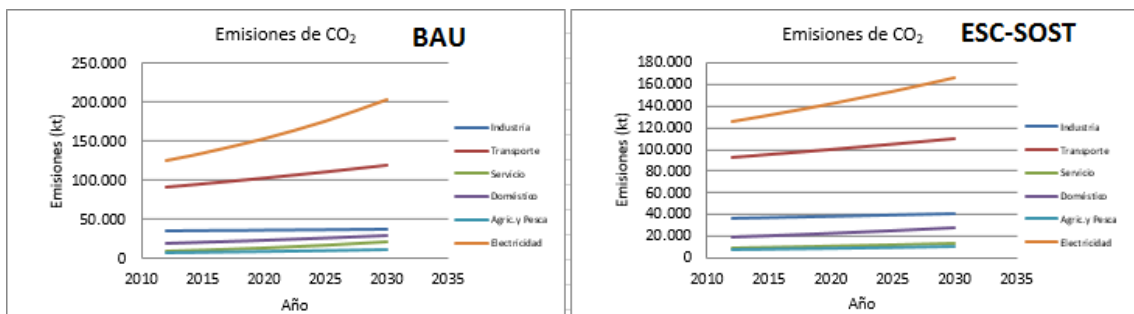


Figura 11: Comparación emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ por sector disminuyen considerablemente, ya que uno de los objetivos de sustituir petróleo por biocombustible en el transporte es la reducción de

emisiones de CO₂ eq. a la atmósfera. Aun así, los sectores de generación de electricidad y de transporte son los que más emisiones continúan produciendo.

Por último, se comparan los indicadores más relevantes de acuerdo a las medidas implementadas. En la figura 12, se observa que las emisiones de CO₂ y la electricidad por cápita han disminuido y aumentan más lentamente.

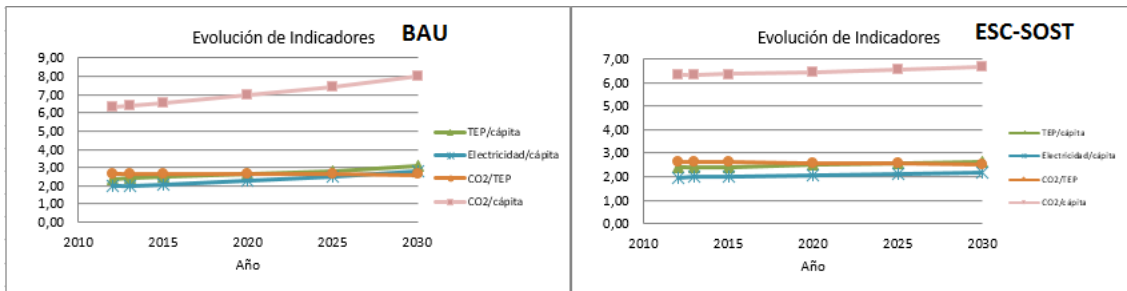


Figura 12: Comparación de la evolución de los indicadores

En la figura 13 se ve la evolución de la energía primaria y final, que tal como se puede observar permanece constante ya que no se ha implementado ninguna medida de deficiencia energética. Sin embargo, el porcentaje de dependencia exterior disminuye en el escenario sostenible con respecto al BAU, lo que resulta un buen indicador de sostenibilidad energética del país.

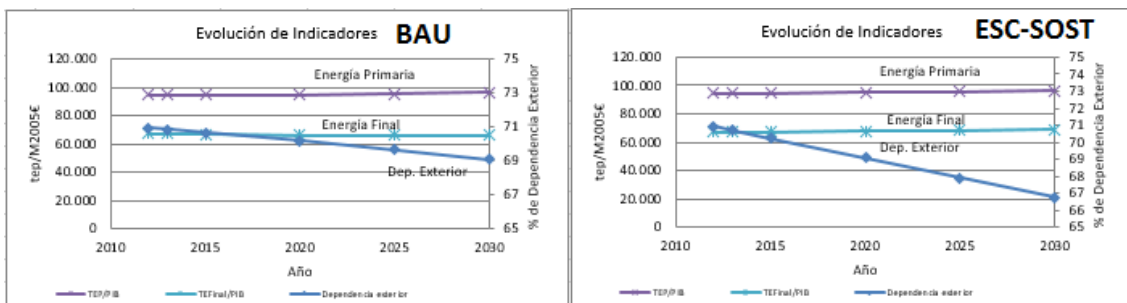


Figura 13: Comparación de la evolución de los indicadores

4 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje se ha estudiado cómo definir un escenario energético sostenible y cómo afectan distintas estrategias o medidas de sostenibilidad. Se trata de un escenario exploratorio que permite evaluar y comparar otras alternativas o soluciones energéticas basadas en la sostenibilidad.

5 Bibliografía¹

5.1 Libros:

A. Pérez-Navarro, D. Alfonso, E. Peñalvo-López, A. Escrivá: "Estudio de Prospectiva sobre Energía Nuclear y su Papel para la Consecución de un Escenario Energético Sostenible en la Comunidad Valenciana", Agencia Valenciana de Prospectiva (AVAP), 2010.

5.2 Objetos de aprendizaje relacionados

E. Peñalvo-López, F.J. Cárcel-Carrasco, C. Andrada: "*Criterios para la elaboración y análisis de escenarios energéticos sostenibles. Ritmos de Crecimiento*".

E. Peñalvo-López, F.J. Cárcel-Carrasco, C. Andrada: "*Criterios para la elaboración y análisis de escenarios energéticos sostenibles. Escenario BAU*".

5.3 Comunicaciones presentadas en conferencias (sin publicar):

E. Peñalvo-López, F.J. Cárcel-Carrasco, C. Devece, I. Morcillo: "*Methodology for analysing sustainability in Energy scenarios*". 2nd International Conference on Business Management. Valencia, España, Julio 2017.

5.4 Referencias de fuentes electrónicas:

D. Connolly; et al. (2010). "A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems". *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 1059-1082.

E. Loken E. (2007). "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp. 1584-1595.

Grubb, et al. (1993). "The cost of limiting fossil-fuel CO₂ emissions: a survey and analysis". *Ann Rev Energy Environ, Ann Rev, California*, Vol. 18, pp 397-478.

International Energy Agency (IEA) (2010). "World energy outlook 2010". International Energy Agency. <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo2010.pdf>

International Energy Agency (IEA) (2011). "Energy for all: financing access for the poor". International Energy Agency, Paris. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/energydevelopment/weo2011_energy_for_all.pdf

International Energy Agency, IEA (2016). "Country Statistics". <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=CONGOREP&product=balances&year=2014> [Accessed: 11/12/2016].

¹ Se recomienda consultar el siguiente documento: Cómo citar la bibliografía en los trabajos académicos. Disponible en : <http://riunet.upv.es/handle/10251/31590>

United Nations Development Programme (UNDP) (2003). "Sharing innovative experience: examples of successful uses of renewable energy sources in the South". Vol. 8. Ed. by United Nations Development Programme (UNDP), New York.

United Nations (2000). "Commercialization of renewable energy technologies for sustainable development." ISBN-13: 978-9211199666. United Nations, New York.

World Bank (2001). "The World Bank's energy program: poverty reduction, sustainability, and selectivity". World Bank, Washington, D.C. <http://siteresources.worldbank.org/INTENERGY/Publications/20269216/energybrochure.pdf>