

FACTORES DE CAMBIO EN EL USO DE ENERGÍAS PRIMARIAS EN NAVARRA, 2000-2006

Alejandro Arizkun Cela
Universidad Pública de Navarra
Científicos por el Medio Ambiente (CiMA)

SUMARIO:

1. **Introducción.**
2. **El uso de energías primarias en Navarra.**
3. **Sus factores de cambio.**
4. **Energías primarias y sostenibilidad.**
 - a. *Agotamiento de sumideros: emisiones de CO².*
 - b. *Agotamiento de energías no renovables.*
5. **Conclusiones**

1. Introducción

Los análisis tradicionales sobre el uso de energías se apoyaban en el estudio de las energías finales utilizadas en los procesos productivos o en los consumos finales, sin embargo estos análisis presentan muy serias limitaciones para realizar valoraciones sobre la sostenibilidad de los sistemas energéticos. En efecto, la disposición de energía útil requiere un consumo de energía en los procesos de extracción de la fuente energética, en los procesos de transformación energética intermedios y en las pérdidas por el transporte y distribución de energía a lo largo de todo ese proceso. De esta manera, para realizar una valoración adecuada de la contribución de determinados usos energéticos al agotamiento de recursos energéticos no renovables o a la emisión de residuos que pudieran agotar los sumideros naturales será preciso incorporar esos usos energéticos previos a la utilización final de la energía, apoyándose en el concepto de **energía primaria** que incluye esos consumos de energía anteriores.

Para ello resulta de mucha utilidad el manejo de **tablas input-output energéticas** que nos mostrarían las mochilas energéticas que hay por detrás de cada uso energético final. Con todo, el análisis basado en tablas input-output presenta algunas limitaciones relacionadas con el nivel de agregación de las categorías que contienen y de la exclusión de los consumos energéticos producidos fuera de las fronteras del país que se trate. Para superar estas limitaciones es necesario realizar **Análisis de Ciclo de Vida** que suponen un estudio detallado de cada proceso productivo concreto cuantificando el recorrido de cada input material o energético desde su extracción de la naturaleza hasta su uso final tanto de los bienes útiles como de los residuos generados, estudios que se han descrito como “de la cuna a la tumba” y que siendo más precisos habría que designar como “de la cuna a la cuna” ya que los productos y residuos generados volverán a formar parte de un nuevo proceso.

Lamentablemente disponemos de pocos estudios sobre Análisis de Ciclo de Vida y resulta, por el momento, imposible generalizar sus resultados para realizar aproximaciones macroeconómicas. Tampoco existen disponibles tablas input-output

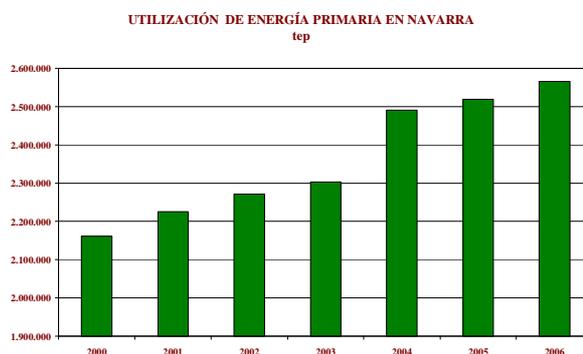
energéticas¹ para abordar el uso de energía en Navarra. En espera de disponer de esas referencias estadísticas el método² aquí utilizado permite mejorar las estimaciones de uso de energías primarias en Navarra por sectores y por fuentes, además permiten el aislamiento de los factores que explican los cambios en el consumo.

Este método, a partir de los balances energéticos, permite establecer tablas de doble entrada de transformación de energías primarias en energías finales y de uso de energías por cada sector productivo con las limitaciones ya señaladas. Los cambios en el uso de energías primarias pueden explicarse por cambios en la transformación energética que modifique la composición de energías primarias que hay en cada energía final. También pueden deberse a cambios en la proporción en que usan las energías finales en los procesos productivos o en los consumos finales. Y pueden, además, deberse a cambios en el uso global de energías finales.

A partir de aquellas tablas de doble entrada pueden aislarse los cambios en el uso de energías primarias debidos a la transformación energética (**ET**), es decir, los cambios debidos a modificaciones de los procedimientos de transformación energética tanto en la intensidad energética como en la composición de energías primarias en las fuentes de energías finales, o por decirlo de otro modo, aislar los cambios en el uso de energías primarias que se hubiera producido si la proporción de energías finales permaneciera constante y también el volumen global de energías finales utilizadas. Por otro lado, pueden aislarse los cambios en el uso de energías primarias debidos a sustitución de unas energías finales por otras (**ES**) permaneciendo constantes los otros dos efectos. Y también, aislar los cambios en el uso de energías primarias debidos a modificaciones en el volumen global de energías finales utilizadas (**EC**) siendo constantes la composición de energías primarias en cada energía final y la proporción de energías finales en su uso. Queda, por último, en efecto residual debido a la interacción de los tres efectos señalados (**EI**).

2. El uso de energías primarias en Navarra.

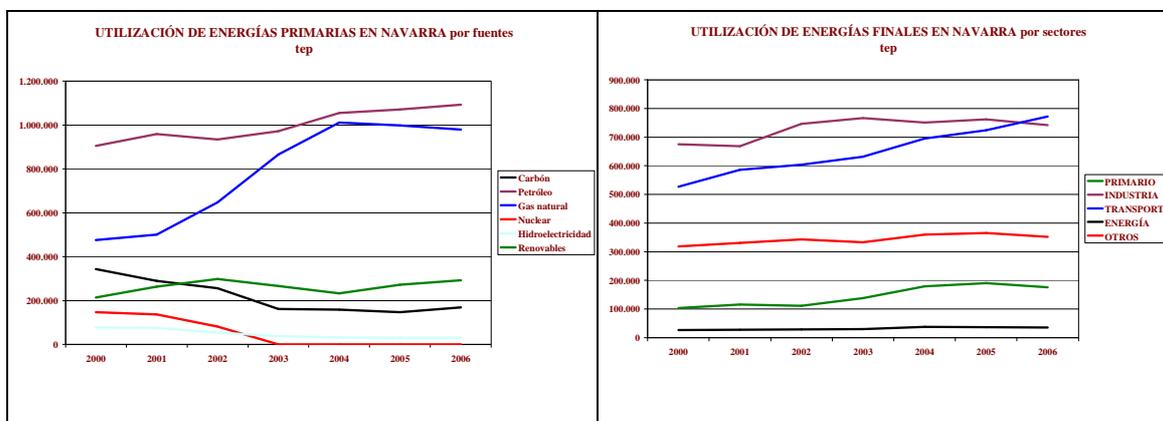
Entre 2000 y 2006 se produjo un aumento en Navarra de un 22 % en el uso de energías primarias. Se produce en el periodo un crecimiento continuo excepto en 2004 en que da un salto grande que representa la mitad de todo el crecimiento del periodo.



¹ Existen estas tablas para España en 1980 y 1985 y no existe ninguna para Navarra.

² Véase el Apéndice Metodológico.

En ese año se mantiene un aumento en el consumo de gas, que es mayor responsable de la subida detectada; crece más el consumo de petróleo y se minimiza el descenso en el consumo de carbón. En 2004 se produce un aumento generalizado del uso de energías finales en todos los sectores productivos.



En este periodo se han producido importantes cambios estructurales en el suministro de energía que hay que tomar en consideración (Arizkun, 2007). El más importante es la irrupción de la generación de electricidad a partir del gas natural que pasa a ocupar un 40% del uso de energías primarias frente a un 23% de la etapa anterior. El inicio de las actividades de las centrales de ciclo combinado en Castejón en 2002 permite generar electricidad excedentaria³ que se utiliza en otras zonas de la península. Otro cambio que se arrastra desde la década anterior es el aumento de la generación de electricidad a partir de energías renovables, especialmente de la energía eólica que comenzó su desarrollo en 1995. Las energías renovables ocupan un 10% de la generación eléctrica⁴.

3. Sus factores de cambio.

Observemos los factores que están por detrás de ese aumento del consumo de energías primarias. Para ello se han establecido dos periodos 2000-2002 y 2003-2006 antes y después del inicio de la exportación de electricidad.

EP	ET	ES	EC	EI	TOTAL
tep					
2000-02	-99.008	-13.971	231.938	-8.534	110.425
2003-06	38.667	17.156	359.310	-3.619	411.514
%					
2000-02	-89,66	-12,65	210,04	-7,73	100,00
2003-06	9,40	4,17	87,31	-0,88	100,00

En el primer periodo se produce un aumento en el consumo de energía primaria, pero una disminución en el uso de energías primarias debida a la transformación energética

³ No hay que confundir este autoabastecimiento eléctrico de Navarra con un autoabastecimiento energético ya que la parte más importante de la generación de electricidad se realiza con gas natural que se importa y otros usos energéticos, especialmente el transporte y la producción de cemento, se nutren de derivados del petróleo y carbones importados.

⁴ En los últimos años se ha frenado por parte del Gobierno de Navarra la instalación de parques eólicos por la saturación de las líneas de distribución eléctrica.

(ET) y a la sustitución de energías finales (ES) sobradamente compensadas por un aumento en el uso global de energías (EC), mientras que en el segundo periodo el gran aumento en el uso de energía se ve reforzado por pequeños aumentos debidos a la transformación energética y la sustitución de fuentes.

2000-2002

	ET	ES	EC	EI	TOTAL
Carbón	-111,9	-17,0	38,5	-9,6	-100,0
Petróleo	-102,2	-163,6	386,9	-21,1	100,0
Gas natural	34,4	33,3	27,0	5,3	100,0
Nuclear	-108,2	-4,9	21,1	-8,1	-100,0
Hidroelectricidad	-115,7	-7,4	32,0	-8,9	-100,0
Renovables	76,8	-5,4	23,8	4,9	100,0
TOTAL	-89,7	-12,7	210,0	-7,7	100,0

En este periodo la transformación energética ha jugado a favor del ahorro energético (ET). El avance en la generación de electricidad con energías renovables y con gas ha permitido reducir la compra en el exterior de energía eléctrica producida con carbón, petróleo y energía nuclear reduciendo el contenido de energías primarias de cada unidad de energía utilizada.

La sustitución de energías finales (ES) también ha resultado levemente ahorradora a través de una sustitución de petróleo por gas.

Por último, se produce un aumento generalizado del uso de energías finales (EC) y, por tanto, de energías primarias, que dobla el ahorro producido con los otros factores y que explica el aumento de uso de energías primarias.

El sector de Transporte es quien más contribuye al aumento en la utilización de energías primarias, explicando casi un 70%, por un aumento del consumo de energías finales apenas compensado con los demás factores.

2000-2002

	PRIMARIO	INDUSTRIA	TRANSPORTE	ENERGÍA	OTROS	TOTAL
ET	-3.650	-50.825	-7.233	-7.054	-30.245	-99.008
ES	3.193	-16.202	-308	0	-654	-13.971
EC	8.583	99.034	84.316	4.261	35.744	231.938
EI	-804	-3.759	-1.020	-512	-2.439	-8.534
TOTAL	7.322	28.248	75.755	-3.305	2.405	110.425

Por su parte la industria tiene un 26% de responsabilidad en aquel aumento. Sin embargo en este caso el aumento en el consumo de energías finales, superior al del transporte, se ve compensado en dos tercios por la suma de la gran disminución debida a las transformaciones energéticas (ET) y de otra menor debida a la sustitución de fuentes finales (EC).

El sector Otros, que incluye servicios, administración y particulares, apenas influye en el conjunto, pero tiene cambios internos compensados de interés. Su aumento en el consumo de energía final (EC) se ve casi compensado por los efectos de la transformación energética (ET).

En el periodo 2003-06 ha desaparecido la energía nuclear, por su parte carbón y petróleo sólo incorporan sus usos finales al dejar de obtenerse electricidad en España.

En este periodo ningún factor juega a favor del ahorro energético, aunque el que más contribuye al aumento de uso de energía primaria es el aumento de la energía final utilizada.

2003-2006					
	ET	ES	EC	EI	TOTAL
Carbón	51,8	112,3	-61,5	-2,5	100,0
Petróleo	7,3	-59,3	154,8	-2,7	100,0
Gas natural	11,2	32,1	59,5	-2,8	100,0
Hidroelectricidad	-273,8	56,2	213,1	-95,5	-100,0
Renovables	18,4	15,9	54,2	11,5	100,0
TOTAL	9,4	4,2	87,3	-0,9	100,0

La hidroelectricidad resulta negativa en la transformación energética (**ET**) por el gran aumento de producción de electricidad con gas que hace perder peso a aquella en el conjunto. El uso de petróleo se reduce por la sustitución de fuente (**ES**) al abandonar el uso electricidad generada con esa fuente; el mismo efecto se produce en el carbón compensado por un aumento de su uso como energía final.

En la evolución por sectores de nuevo es el sector Transportes el que más contribuye al aumento de uso de energías primarias con más de 60% y aunque presenta una ligera mejoría en sustitución de energías (**ES**), el gas y las renovables sustituyen en pequeña medida al petróleo, el gran aumento en el uso de energías finales absorbe de largo esa mejoría.

2003-2006						
	PRIMARIO	INDUSTRIA	TRANSPORTE	ENERGÍA	OTROS	TOTAL
ET	1.598	17.933	4.393	1.749	8.141	33.814
ES	-2.695	21.091	-755	0	8.855	26.496
EC	43.260	-31.066	151.992	9.499	25.538	199.223
EI	-507	353	737	308	1.735	2.626
TOTAL	41.656	8.311	156.367	11.556	44.270	262.159

El sector primario también sustituye energías (**ES**) en una dirección ahorradora, sustituye petróleo por gas, también en este caso al aumento de uso de energías finales (**EC**) compensa aquel ahorro.

4. Energías primarias y sostenibilidad.

La mejora en la sostenibilidad energética se produce cuando existe una disminución en el uso de energías no renovables, si ha disminuido el ritmo en el uso de energías renovables por debajo del nivel de su reproducción, si se reduce la emisión de residuos por debajo de la capacidad de absorción de los sumideros naturales y si se reduce la ocupación del espacio. Aquí nos centraremos en los dos aspectos de mayor relevancia: las emisiones de CO² principal causante del efecto invernadero y el cambio climático, así como del uso de combustibles fósiles que presentan síntomas de agotamiento en un plazo no muy lejano si continúan las actuales pautas de crecimiento en su utilización.

a. Agotamiento de sumideros: emisiones de CO².

Navarra en 2005 superaba en más de un 60% las emisiones de gases de efecto invernadero de 1990 e incluso si se cumplen las previsiones del Gobierno de Navarra en su *Plan Energético 2010* en esta fecha se habrán superado en casi un 90% (Arizkun, 2007).

Aplicando a los combustibles fósiles los coeficientes de emisiones CO² podemos aproximar, también, los factores que mayor influencia han tenido en los aumentos de esas emisiones debidos al uso de energía.

CO2					
tep	ET	ES	EC	EI	TOTAL
2000-02	-317.842	-46.214	521.122	-119.666	37.400
2003-06	90.602	-1.962	734.853	-584.367	239.126
%					
2000-02	-849,84	-123,57	1393,36	-319,96	100,00
2003-06	37,89	-0,82	307,31	-244,38	100,00

Entre 2000 y 2002 el efecto transformación (**ET**) y el efecto de sustitución final (**ES**) tienen efectos de reducción sobre las emisiones de CO² por las razones ya apuntadas en el análisis de las energías primarias y porque la combustión de gas tiene menores emisiones por tep que el carbón y el petróleo. Pero también en este caso el aumento en el uso de energía final (**EC**) compensa sobradamente esas reducciones y el balance global produce un aumento de las emisiones.

2000-2002					
CO2	ET	ES	EC	EI	TOTAL
Carbón	-391,5	-59,7	134,9	216,2	-100,0
Petróleo	-310,6	-497,2	1175,8	-268,0	100,0
Gas natural	123,7	119,7	96,8	-240,2	100,0
TOTAL	-849,8	-123,6	1393,4	-320,0	100,0

Puede observarse que los efectos de la reducción en el uso de carbón son globalmente positivos, en el caso del petróleo son globalmente negativos porque el aumento de consumo final (**EC**) compensa los otros dos factores que tienen efecto reductor. Mientras que en el gas aumenta su participación en la generación de energía (**ET**), sustituye a otras fuentes en el consumo (**ES**) y aumenta su uso final (**EC**) impulsando los tres factores el aumento de las emisiones.

Entre 2003 y 2006 sólo el efecto de sustitución (**ES**) resulta levemente reductor de las emisiones.

2003-2006					
CO2	ET	ES	EC	EI	TOTAL
Carbón	181,2	393,1	-215,4	-258,9	100,0
Petróleo	22,1	-180,3	470,5	-212,2	100,0
Gas natural	40,2	115,2	213,7	-269,2	100,0
TOTAL	37,9	-0,8	307,3	-244,4	100,0

Este efecto es debido a la sustitución de petróleo, pero de nuevo el aumento de su consumo final (**EC**) compensa esa reducción. Además se le suman las transformaciones energéticas (**ET**) que tienen un efecto más contaminador.

En el caso del carbón se produce una reducción de su consumo final compensado por los otros dos efectos.

Entre los sectores de actividad la industria es el único que tiene una reducción en las emisiones de CO² en los dos periodos; en el primero reduce sus emisiones por la transformación energética (**ET**) y por la sustitución de energías finales (**ES**), mientras que en el segundo se debe a la reducción en el consumo de energía final (**EC**) que experimenta.

2000-2002

CO ²	PRIMARIO	INDUSTRIA	TRANSPORTE	ENERGÍA	OTROS	TOTAL
ET	-11.169	-165.778	-19.116	-23.216	-98.564	-317.842
ES	2.801	-52.277	-258	0	3.520	-46.214
EC	20.603	213.008	214.329	7.173	66.009	521.122
EI	-9.432	-3.600	-131.578	10.728	14.216	-119.666
TOTAL	2.804	-8.647	63.376	-5.315	-14.818	37.400

2003-2006

CO ²	PRIMARIO	INDUSTRIA	TRANSPORTE	ENERGÍA	OTROS	TOTAL
ET	3.695	45.174	11.110	3.593	17.061	9.970
ES	-7.630	12.022	-5.476	0	33.092	-33.970
EC	103.826	-67.649	386.626	14.930	45.505	251.615
EI	-70.430	3.488	-262.817	-13.156	-69.411	-172.041
TOTAL	29.461	-6.965	129.442	5.366	26.247	55.574

El sector Transporte es el que más contribuye al aumento de las emisiones sobre todo debido en los dos periodos al aumento en el consumo de energía final (**EC**). El mismo comportamiento, aunque a un nivel mucho más bajo, tiene el sector Primario. El sector Otros tiene un comportamiento reductor de emisiones en el primer periodo debido a las transformaciones técnicas (**ET**) ya señaladas, pero un aumento de las emisiones en el segundo periodo al desaparecer aquellas.

b. Agotamiento de energías no renovables.

El aumento en el uso de energías primarias renovables sólo tendrá un efecto positivo sobre la sostenibilidad si sustituye a energías no renovables y por tanto agotables. Lo interesante en este apartado será observar el aumento o reducción en el uso de energías no renovables y los factores que lo explican.

No renovables					
tep	ET	ES	EC	EI	TOTAL
2000-02	-137.563	-7.790	204.868	-10.625	48.890
2003-06	35.480	757	302.334	-9.162	329.409
%					
2000-02	-281,37	-15,93	419,04	-21,73	100,00
2003-06	10,77	0,23	91,78	-2,78	100,00

De nuevo se detecta un comportamiento muy similar al observado antes con un aumento en los dos periodos del uso de energías no renovables. Mayor entre 2003 y 2006 por mayor aumento en el uso de energía final (**EC**) y porque los otros dos factores también tienen una contribución al aumento de su uso. Entre 2000 y 2002 las transformaciones en el origen de la electricidad utilizada (**ET**) y la sustitución entre energías (**ES**) resultan reductoras en su uso compensado por el aumento de energías finales (**EC**). La responsabilidad de cada fuente de energía no renovable y de cada sector productivo ya fue analizada anteriormente.

5. Conclusiones

El aumento de la generación de electricidad en Navarra a partir de fuentes de energía renovables, especialmente la energía eólica aunque también la energía solar fotovoltaica y la biomasa, y el inicio de la exploración de otras fuentes renovables para la combustión como el biodiesel ha permitido a algunos ofrecer una visión de la situación del uso de la energía en Navarra muy favorable desde el punto de vista de la sostenibilidad. Así los medios de comunicación nos presentan con frecuencia una imagen paradisíaca del uso de la energía en Navarra. El Gobierno de Navarra en su Plan Energético 2010 señala la siguiente fortaleza sobre la energía en Navarra: “Un elevado índice de autoabastecimiento merced al uso de energías renovables” (Gobierno de Navarra, 2007, 69). La prestigiosa revista *Nature* (Farless, 2007) hace pocos meses daba cuenta de los avances en energías eólicas en Navarra, mostraba un panorama muy halagüeño y se preguntaba en el subtítulo: “How did a little Spanish province become one of the world’s wind-energies giant?”

No hay duda de que ha aumentado el uso de energías renovables y de que los cambios en las energías primarias que generan la electricidad utilizada, sustituyendo carbón, petróleo y energía nuclear por gas natural tienen efectos positivos. También el uso de técnicas de ciclo combinado es positivo por la mayor eficiencia energética que presentan. Sin embargo esto no significa que Navarra se encuentre hoy en una situación más sostenible desde el punto de vista energético. A pesar de aquellos elementos

positivos, hoy en Navarra el uso de energías da lugar a mayores emisiones de gases de efecto invernadero y a mayores consumos de energías no renovables.

Esta aparente contradicción se resuelve observando el crecimiento en el uso de energías finales superior al 25% entre 2000 y 2006. Las mejoras introducidas en el abastecimiento energético, especialmente el eléctrico, permiten que el crecimiento en el uso de energías primarias sea inferior ya que no alcanza el 19%. Sin embargo en términos absolutos el aumento de uso de energías primarias supera los 400 Mtep mientras que las energías renovables experimentan un crecimiento de algo más de 33 Mtep. El resto, naturalmente, se cubren con energías no renovables y fósiles. El aumento en la disponibilidad de energías renovables se ve desbordado por un aumento muy superior en el uso de energías haciendo estéril, desde el punto de vista de la sostenibilidad, el esfuerzo de impulsar energías renovables. No estamos en presencia de un proceso de sustitución de fuentes no renovables y fósiles por energías renovables y limpias, sino en un aumento de ambos tipos de fuentes.

Pero convendrá observar con más detalle dos cambios experimentados: el avance en la generación de electricidad con energía eólica y la irrupción en 2002 de la generación de electricidad con gas natural en centrales de ciclo combinado⁵.

La disponibilidad de energía eólica ha crecido desde 1995 continuamente excepto en 2003 y 2006, reforzada con mayor utilización de la biomasa en la generación eléctrica y compensada levemente por una caída de la energía hidráulica (Arizkun, 2007). Sin embargo como a partir de 2003 parte de la electricidad generada en Navarra se vende fuera, en el uso de energías primarias en Navarra el peso de estas energías cae continuamente desde 2002.

En ese mismo año se ponen en funcionamiento las centrales de ciclo combinado de Castejón para producir electricidad con gas natural. Esta fuente alcanza el 70% de la energía primaria utilizada en la generación de electricidad y el 34% de todas las energías primarias utilizadas en 2005. Por este motivo se observan efectos positivos en la contención de uso de energías primarias debido al efecto de transformación energética en el periodo 2000-02, y desaparecen el carbón, el petróleo y la energía nuclear como fuentes base de la electricidad utilizada en Navarra con sus efectos positivos en la emisión CO² y en la presión sobre el agotamiento de los recursos no renovables. A pesar de esto, esos efectos positivos resultan inferiores al aumento del consumo de energía final dando lugar a un balance global negativo.

En el periodo 2003-06, una vez integrado esos efectos positivos que son puntuales en el tiempo, el efecto de transformación vuelve a ser negativo para la sostenibilidad y se suma al importante aumento en el uso de energía final.

El sector que tiene mayor responsabilidad en ese aumento de uso de energías renovables es el sector del Transporte, seguido del sector Industria, pero los demás sectores también incrementan el uso de energías primarias.

Respecto a las emisiones CO² de ese protagonismo del sector Transporte, dependiente del petróleo, se agranda ya que la Industria utiliza proporcionalmente más electricidad y gas. En este caso el sector Primario, a pesar de su pequeño tamaño, aumenta sus emisiones cuatro veces más que la industria debido al abundante uso del petróleo que realiza y el sector Otros es el único que reduce sus emisiones.

⁵ La obtención de electricidad con placas fotovoltaicas y con biogas; de calor con placas solares o de biodiesel como carburante son muy recientes y tienen un peso muy pequeño en el conjunto.

BIBLIOGRAFÍA

Alcantara, Vicent y Jordi Roca (1995): "Energy and CO2 emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-1990", en *Energy Economics*, vol. 17, nº 3, pp. 221-230.

Ang, B.W. y Lee, S. Y. (1994): "Descomposition of industrial energy consumption some methodological and application issues", en *Energy Economics*, vol. 16, nº 2, pp. 83-92.

Alcantara, Vicent y Roca, Jordi (1996): "Tendencias en el uso de la energía en España (1975-1990). Un análisis a partir de los balances energéticos", en *Economía Industrial* nº 311.

Arizkun, Alejandro (2007): *Energía y sostenibilidad en Navarra, 1984-2005*. Puede consultarse en: <http://www.econ.unavarra.es/%7Earizkun/hojaper/Trabrec.htm>

Etemad, B. & J. Luciani (1991): "World Energy Production, 1800-1985", Droz, Paris.

Farless, Daemon (2007): "Energy-go-round. How did a little Spanish province become one of the world's wind-energies giant?", *Nature*, vol. 447, 28 junio.

Gobierno de Navarra (1984-2005): *Balances de energía final*. Los correspondientes al año 2004 y al año 2005 pueden encontrarse en:

<http://www.cfnavarra.es/INDUSTRIA/areas/energia/Balances%20energeticos%20de%20Navarra%202004-2005.pdf>

Gobierno de Navarra (1994-2005): *Balances de generación de energía eléctrica*. Los correspondientes al año 2004 y al año 2005 pueden encontrarse en:

<http://www.cfnavarra.es/INDUSTRIA/areas/energia/Balances%20energeticos%20de%20Navarra%202004-2005.pdf>

Gobierno de Navarra (2007): *Plan Energético de Navarra, horizonte 2010*.

<http://www.cfnavarra.es/INDUSTRIA/areas/energia/PlanEnerg.pdf>

IEA (2006): *World Energy Outlook, 2006*.

Melero, Pedro (2002): "Balances energéticos: infraestructura estadística y productos finales", en *Revista de Fuentes estadísticas* nº 65

<http://www.ine.es/revistas/fuentes/Numero65/paginas/16-17.htm>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (1985-2006): *La energía en España*, Ministerio de Hacienda, Madrid. Publicación anual. De 2001 a 2006 pueden consultarse en:

<http://www.mityc.es/Balances/Seccion/Publicaciones/PublicacionesBalances/>

APENDICE METODOLÓGICO

La metodología para separar los factores que han influido en los cambios en el uso de energía primaria y en la emisiones energéticas de CO₂ en Navarra se apoya en la utilizada por Alcantara y Roca (1995) que a su vez se inspira en la utilizada por Ang y Lee (1994).

Esta metodología se apoya en el cálculo matricial y en los principios del análisis input-output. A partir de los balances energéticos de Navarra y de España se determinan unas matrices anuales:

- **E** de contenido de energías primarias directas en energías finales que nos indican las cantidades, expresadas en **tep**, de cada tipo de energía primaria que se contienen en cada unidad de energía final. Para su cálculo ha habido que combinar las fuentes de energía primarias obtenidas en Navarra (eólica, biomasa e hidroelectricidad) y las provenientes de España (carbón, petróleo, gas natural). Asimismo hasta 2002 las energías primarias contenidas en la electricidad proveniente de España (carbón, petróleo, gas, nuclear y renovables). En una primera fase del cálculo se ha considerado como “energía primaria” el consumo de la industria energética y las pérdidas en transporte y distribución de electricidad para estimar las energías primarias indirectas que contienen, aunque, naturalmente desaparece en la tabla de energías primarias totales.
- **C** de uso de energías finales por sectores productivos en Navarra. En ellas se consideran cinco fuentes de energía: Carbón, Petróleo y derivados, Gas, Electricidad y Renovables; y cinco sectores productivos: Primario, Industria, Transporte, Energía, Otros y Exportación. En el sector Energía se consideran los consumos de energía para la obtención de fuentes de energía finales y las pérdidas de energía por transporte y distribución; a su vez el sector Exportación incluye la energía eléctrica generada en Navarra que se vende fuera de Navarra a través del sistema eléctrico español a partir de 2003.

A partir de estas matrices es posible calcular otras matrices:

- **T** de transformación de energías finales en energías primarias que nos indican las cantidades **directas e indirectas** de cada tipo de energía primaria que se contienen en cada unidad de energía final. Para ello se calcula la matriz inversa de **I-E**. Siendo **I** la matriz unitaria.

$$\mathbf{T}=(\mathbf{I}-\mathbf{E})^{-1}$$

- **EP** de uso global, directo e indirecto, de energías primarias por cada sector productivo. Obtenida mediante el producto de la matriz **T** y la matriz **C**.

$$\mathbf{EP}=\mathbf{T}*\mathbf{C}$$

- **A** de proporción en cada sector productivo de uso de energía primaria respecto del total de energía de cada sector. Obtenida de la matriz **C**.
- **B** matriz diagonal de uso de energías finales en cada sector. Obtenida de la matriz **C**. De tal modo que estas dos matrices resultan de la descomposición de la matriz **C**.

$$\mathbf{C}=\mathbf{A}*\mathbf{B}$$

y por tanto,

$$EP=T*A*B$$

Del cálculo con estas matrices pueden obtenerse de forma separada los cambios en el uso de energías primarias debidos a cambios en transformaciones en la obtención de energía (**ET**); en cambios en la proporción de energías finales usadas en cada sector productivo (**ES**); y en cambios en el consumo energético final (**EC**). Quedarán residualmente unos cambios en el uso de energías debidos a la interacción de los tres tipos de cambios señalados que se recogen en la matriz **EI**. De tal manera que los cambios en el uso de energía primaria entre el año **o** y el año **n** será la suma de las matrices de cada factor.

$$EP_n-EP_o=ET+ES+EC+EI$$

De ahí el Efecto de Transformación Energética será:

$$ET=(T_n-T_o)*A_o*B_o$$

El Efecto de Sustitución de Energías finales será:

$$ES=T_o*(A_n-A_o)*B_o$$

Y el Efecto de Consumo Energético final será:

$$EC=T_o*A_o*(B_n-B_o)$$

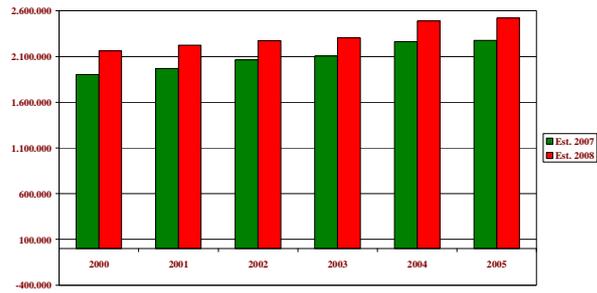
Aplicados los mismos procedimientos, después de multiplicar las matrices **EP** por un vector de emisiones de CO₂ para cada tipo de energía primaria, podremos conocer el peso de cada uno de esos factores en los cambios en las emisiones de CO₂ debidas al sistema energético. Estos factores se obtienen de la proporción de emisiones por Mtep en los países europeos de la OCDE (IEA, 2006):

CO2/EP	
Mt/Mtep	2004
Carbón	3,885
Petróleo	2,553
Gas	2,298

Los resultados obtenidos mediante estos cálculos presentan algunas limitaciones para el análisis del uso de la energía desde el punto de vista de la sostenibilidad debidos a limitaciones en la información estadística disponible en los Balances Energéticos:

- Estos balances no incluyen el uso y pérdidas de energías en la extracción, transformación y transporte de fuentes energéticas provenientes de fuera de las fronteras españolas, que afecta al petróleo, al gas natural y a parte del carbón.
- Los balances navarros no recogen las pérdidas por transporte interno de carbón, petróleo y gas, aunque sí las pérdidas de electricidad.
- El uso de energía en la construcción, transporte e instalación de las infraestructuras y equipos de transformación y transporte energético que deberán ser abordados a través de un Análisis de Ciclo de Vida.

COMPARACIÓN ENTRE ESTIMACIONES DE USO DE
ENERGÍA PRIMARIA EN NAVARRA



Estos procedimientos utilizados permiten mejorar la estimación del uso de energías primarias en Navarra realizados en Arizkun (2007) al incorporar el uso indirecto de energías, sin embargo por las limitaciones señaladas representa una estimación mínima que deberá ser completada.