

Análisis del Comportamiento Energético de la Ciudad de Santa Fe

Resumen: La energía juega un rol importante en el desarrollo de un país, un conocimiento amplio de la situación energética permite un ordenamiento de todos los sectores de la economía a través de la implementación de políticas energéticas. Bajo este enfoque, surge la necesidad de conocer el comportamiento energético de la Ciudad de Santa Fe para comprender la problemática actual, identificar tendencias y obtener una visión completa de la demanda, con el fin de disponer de una herramienta para la toma de decisiones que permitan a futuro tender a un desarrollo sustentable. En este trabajo se propone conocer la distribución del uso final correspondiente al 2015 e identificar indicadores de desempeño energético que permitan un control y monitoreo constante. Como paso inicial se busca la relación causal que guardan los elementos estudiados hasta el momento del sistema en análisis.

Palabras Claves: Energía; Consumo; Indicadores; Diagrama Causal.

Abstract: Energy plays an important role in the development of a country; the knowledge of the energy situation allows an ordering of all sectors of the economy through the implementation of energy policies.

Under this approach, is born the need to know the energy behavior in Santa Fe City to understand the actual problems, identify trends and obtain a complete view of the demand, in order to have a decision making tool that allows in the future to tend a sustainable development. This paper proposes to know the distribution of end use to correspond to 2015 and identify indicators of energy performance that allow constant control and monitoring. As an initial step proposes to look for the causal relationship that the elements Identified until the moment of the system in analysis keep.

Keywords: Energy; Consumption; Indicators; Causal Diagram.

Dianela G. Gonzalez, Sebastián U. Romero.

Secretaría de Ciencia y Tecnología, Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavalse 610, Santa Fe, Argentina.

Mail: ciencia_y_tecnologia@frsf.utn.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo está afrontando un enorme desafío energético y medioambiental. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE-OECD) proyecta que para 2050 una economía mundial cuatro veces mayor que la actual emplee un 80% más de energía. Previendo que a falta de políticas energéticas más efectivas, la proporción de energía fósil en el consumo energético mundial permanecerá cerca del 85%. [OCDE-OECD, 2012]

Esto pone de manifiesto que si no se toman medidas correctivas se tenderá a un mayor consumo, y por ende, contaminando aún más, emitiendo gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono (CO₂). Este último representa el 75% de la totalidad de los gases de efecto invernadero. [Piebalgs, 2007]

Los sistemas de suministro de energía a nivel mundial se encuentran en un punto de inflexión, por lo que las decisiones que se tomen hoy afectarán a nuestras vidas durante varias décadas. [Consejo Mundial de Energía, 2014]

La Argentina al igual que el resto del mundo ha comenzado a considerar esta problemática, ya sea por la escasez energética o por la eliminación de los subsidios en las tarifas, sin embargo aún falta mucho por debatir. Es preciso tomar conciencia acerca de la alta dependencia de hidrocarburos como fuente de energía, dado que en las últimas décadas han representado una parte sustancial del consumo energético. [Bravo, 2012]

Para establecer un equilibrio entre la disponibilidad de las fuentes de energía, el consumo y el cuidado del ambiente, se requiere de planificación e implementación de políticas energéticas, en las cuales se consideren los niveles de oferta y demanda de energía en el contexto macroeconómico, los precios, las diferentes fuentes energéticas y su peso relativo en relación con el balance global, además de la gestión del sector empresarial [Stella, 2012].

Se puede afirmar entonces que transcurrimos un período en donde es necesario diagramar un plan de desarrollo integral y sustentable en todos los niveles, dando origen a la necesidad de acceder a fuentes de investigación sólidas que permitan brindar información acerca del comportamiento cambiante de la energía.

Este contexto da origen al proyecto de investigación en el que se enmarca el presente trabajo, con la intención de brindar herramientas que permitan comprender el panorama energético de la Ciudad de Santa fe y así poder generar el marco político necesario para obtener una energía que sea sostenible y asequible en el medio y largo plazo.

Es necesario el diagnóstico y el análisis de las tendencias temporales para identificar problemas prioritarios y además realizar una planificación en distintos escenarios. Es en este punto donde la modelización y la simulación ayudan a analizar distintos aspectos y predecir conductas en el tiempo.

El comportamiento de un sistema proviene de su estructura, y para identificarlo, en primer lugar se hace una generalización desde eventos específicos hasta la obtención de patrones que caractericen la situación. Para ello se deben investigar los cambios a través del tiempo de algunas variables de interés o patrones de comportamiento que se desean representar. [Portillo y Tymoschuk, 2012]

Es así que se plantea como primera necesidad realizar un análisis del comportamiento en el tiempo del consumo de la ciudad para comenzar a definir las métricas de los modelos.

Para identificar los elementos claves del sistema a modelar; es necesario acceder a registros históricos para poder hacer una evaluación de la conducta del sistema. Este análisis no puede ser realizado dado a que la Ciudad de Santa Fe no posee información histórica del consumo energético, creando la necesidad de generar una propia base de datos.

Actualmente se tiene definida una metodología en base al procedimiento determinado por la Secretaría de Energía de la Nación Argentina para determinar el balance energético nacional (BEN). La metodología considera las características de la Ciudad de Santa Fe y permite obtener la distribución del consumo final para un período en análisis. Se obtiene así la información referida al consumo final durante el año 2014 de la cual se puede concluir que el consumo es totalmente dependiente de recursos escasos. [González y Romero, 2015]

El objetivo de este trabajo es actualizar la distribución del consumo para el período 2015 e incorporar nuevos datos, que permita caracterizar el sistema, determinando algunos indicadores para la serie 2014-2015.

Bajo el enfoque de la dinámica de sistemas, como tapa inicial, en este trabajo se busca plantear de forma conceptual el modelo dinámico del sistema mediante el uso de diagramas causales.

Se plantean como acciones futuras el ampliar el número de indicadores y complejizar el diagrama causal.

METODOLOGÍA

a. Actualización de la distribución de consumo de energía de la Ciudad de Santa Fe correspondiente al 2015

Como se mencionó anteriormente, se tiene definida una metodología que permite obtener la distribución del consumo correspondiente a un año, a partir de datos de consumo recopilados (Gonzalez y Romero, 2015). Se procede a aplicar dicha metodología, debiendo reunir previamente información acerca del consumo de los distintos energéticos en el año 2015.

Esta información es proporcionada por los distintos prestadores de servicio que se detallan a continuación:

- La Empresa Provincial de Energía (EPE).
- Litoral Gas Sociedad Anónima, es la empresa responsable de la distribución de gas natural por redes en la provincia de Santa Fe.
- La Cooperativa Setúbal subdistribuidora de Litoral Gas.
- La Secretaría de Energía de la Nación, a través de la página oficial.

Una vez que se dispone de la información, se lleva a delante el procesamiento, obteniendo como resultado la distribución de consumo final del período 2015 discriminada de la siguiente forma:

- Distribución del consumo 2015 discriminada por tipo de energético.
- Distribución del consumo eléctrico 2015 discriminada por tipo de usuario.
- Distribución del consumo de gas 2015 discriminada por tipo de usuario.
- Distribución del consumo de combustibles 2015 discriminada por tipo de derivado.

Para poder hacer un análisis comparativo se deben llevar todos los valores a una misma unidad, la metodología emplea la tonelada equivalente de petróleo [tep].

b. Definición de Indicadores a utilizar

Además de conocer la distribución del consumo, que presenta el panorama íntegro de los flujos energéticos en un período dado, es necesario ampliar el campo de análisis y estudiar factores que condicionan la conducta de consumo. Es aquí donde entran en juego los indicadores, que muestran la correlación que los flujos energéticos guardan entre sí y con variables económicas, demográficas, sociales, ambientales y de otra índole.

Los indicadores son parámetros de medición que integran generalmente más de una variable básica que caracteriza un evento, a través de formulaciones

matemáticas sencillas, ampliando el significado de las variables que lo componen y permitiendo una fácil comprensión de las causas, comportamiento y resultados de una actividad. [OLADE, 2011]

Debido a la importancia que revisten los indicadores de desempeño energético como herramienta para la toma de decisiones y en función de la información disponible se definen los siguientes indicadores:

- Consumo energético total por habitante [tep/hab]. (2014-2015)

Consiste en el cociente entre el consumo energético total de los usuarios de la ciudad, en toneladas equivalentes de petróleo [tep], y el número de habitantes correspondientes al mismo período.

Este indicador refleja el progreso económico, al relacionar el consumo de energía con el grado de industrialización y con la calidad de vida de los habitantes. Sin embargo, desde el punto de vista de desarrollo sostenible, permite evaluar la presión que ejerce la población sobre el medio ambiente.

- Consumo eléctrico total por habitante [kWh/hab]. (2014-2015)

Consiste en la razón entre el consumo de energía eléctrica total en kilowatts-hora [kWh] de la ciudad y el número de habitantes correspondientes al mismo período.

Este indicador permite identificar el grado de desarrollo industrial y el nivel de vida de los habitantes. Sin embargo, también es una medida de la presión que ejerce la población sobre el medio ambiente.

- Emisión de CO₂ por habitante. [t/hab]. (2014 - 2015)

Consiste en el cociente entre las toneladas [t] totales de dióxido de carbono [CO₂] emitidas y el número de habitantes correspondientes al mismo período.

Para poder definir este indicador es necesario previamente determinar las toneladas de CO₂ emitidas durante

el 2014 y el 2015. Dado que se cuenta con la información correspondiente al consumo durante estos años es posible calcular la emisión a partir de factores de conversión.

Según bibliografía consultada los valores de conversión a emplear en aquellos energéticos derivados del petróleo son los que se muestran en la Tabla 1. [2da Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2007].

Tipo de energético	Factor de conversión	Unidades	Factor de conversión	Unidades
Gas Oil	74,354	t CO ₂ /TJ	2,97	t CO ₂ /tep
Kerosene	73,466	t CO ₂ /TJ	2,94	t CO ₂ /tep
Nafta	69,300	t CO ₂ /TJ	2,77	t CO ₂ /tep
Gas natural	56,140	t CO ₂ /TJ	2,25	t CO ₂ /tep
GLP	63,067	t CO ₂ /TJ	2,52	t CO ₂ /tep
Biocombustible	Neutro	t CO ₂ /TJ	Neutro	t CO ₂ /tep

Tabla 1: Factores de conversión de emisiones de CO₂.

Para determinar las emisiones respecto al consumo de electricidad, la Secretaria de Energía de la Nación Argentina estima año a año un factor que contempla las emisiones desde la generación hasta el consumo [Ministerio de Energía y Minería,2015]. Debido a que aún no se ha publicado el valor correspondiente a 2015 se procederá a estimar las emisiones con el factor correspondiente a 2014, indicado en la Tabla 2. Se cree que el error que se comete es mínimo debido a que en estos períodos la característica de generación es similar. Además lo que se persigue en esta instancia es una mera observación del comportamiento sin realizar cuantificaciones del sistema.

Una vez que se determinan las emisiones se

procede a calcular el indicador.

Este indicador permite realizar previsiones de incremento del impacto ambiental en función del crecimiento demográfico.

Debe aclararse que se poseen los datos de consumos totales de energía discriminado por tipo de energético para 2014 y 2015.

El número de habitantes de la ciudad de Santa Fe corresponde al indicado por las proyecciones del Instituto Provincial de Estadística y Censos (IPEC) en función del censo 2010. [IPEC, 2016]

Tipo de energético	Factor de conversión	Unidades	Factor de conversión	Unidades	Año
Energía eléctrica	0,527	T CO ₂ /MWh	6,13	t CO ₂ /tep	2014

Tabla 2: Factores de conversión de emisiones de CO₂.

c. Planteo del diagrama causal como base del modelo del consumo energético de la Ciudad de Santa Fe.

A los diagramas causales se los denomina también hipótesis dinámica dado a que son planteos que tratan de explicar el comportamiento observado. Los diagramas causales son diagramas compuestos por elementos claves del sistema relacionados entre sí.

La experiencia de trabajo con estos diagramas indica que a medida que se avanza con el análisis del sistema y se reformula la estructura básica, esta se aproxima a la complejidad del modelo.

La estructura básica se obtiene mediante el número mínimo de elementos y relaciones que permitan reproducir la referencia histórica del sistema en análisis.

Otro de los objetivos de este trabajo es obtener la estructura básica del diagrama causal de la situación energética de la Ciudad de Santa Fe.

Para lograr esto se definen las variables del sistema y las hipotéticas relaciones causales existentes entre ellas. En

este sentido se identifican los elementos y sus relaciones a partir de la información procesada hasta el momento.

Una vez identificadas las variables se procede a definir las hipotéticas relaciones o influencias que existen entre ellas por medio de enlaces causales, asignado a cada enlace una polaridad, ya sea positiva (+) o negativa (-), indicando como cambian las variables dependientes en función de las independientes.

Una cadena cerrada de relaciones causales recibe el nombre de bucle, retroalimentación o feedback, pudiendo ser de retroalimentación positiva o negativa. Los bucles de retroalimentación positiva generan crecimiento, decrecimiento y desviaciones amplificadas, mientras que los de retroalimentación negativa buscan el equilibrio y el balance. Para determinar si la polaridad del bucle es positiva o negativa se rastrea el efecto del cambio en una de las variables a lo largo del bucle. Si el efecto de retroalimentación refuerza el cambio original, es un bucle positivo y si se opone al cambio original entonces será un bucle negativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Actualización de la distribución de consumo de energía de la Ciudad de Santa Fe correspondiente al 2015.

Como resultado del análisis de la información se obtiene la distribución del uso final de la Ciudad de Santa Fe para el año 2015, cuyo consumo total es de 295.993,70 [tep].

Como puede observarse en la Figura 1 el consumo está conformado en su mayor parte por recurso escaso, denotando una total dependencia de los derivados del petróleo. El energético que mayor consumo presenta es el gas, esto puede ser atribuido a los beneficios que éste tiene en relación al costo, la continuidad en el suministro,

la reducida emisión de dióxido de carbono, la ventaja de su consumo en procesos productivos, entre otros. Luego le sigue el consumo de combustibles, que representa el 31% del total, siendo estos los principales generadores de CO₂. Finalmente con el 25% se encuentra el consumo eléctrico.



Fig. 1: Distribución porcentual del uso final de energía para la ciudad de Santa Fe. Año 2015.

Del análisis de la Figura 2 y Figura 3 se identifica que el mayor consumo se debe al uso residencial, representando en ambos casos más del 50% del total del energético consumido.

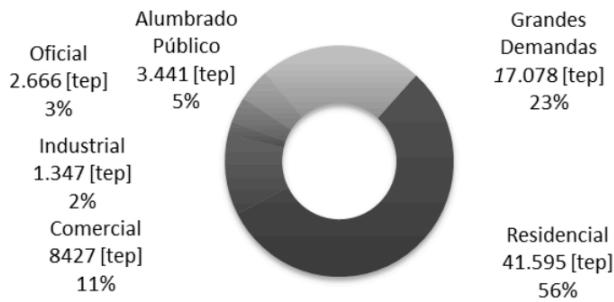


Fig. 2: Distribución del consumo de energía eléctrica por tipo de usuario. Año 2015.

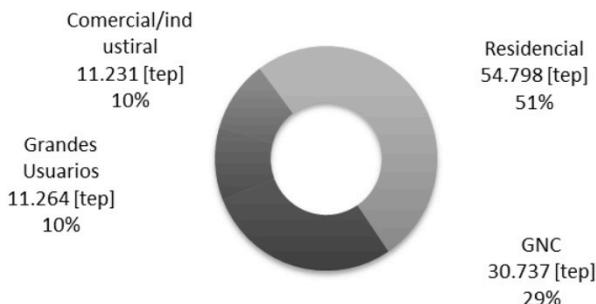


Fig. 3: Distribución del consumo de gas por tipo de usuario. Año 2015.

En tanto al consumo de combustibles, cuyo principal uso es el transporte, se identifica una leve tendencia de los usuarios a consumir naftas, como puede observarse en la Figura 4. Con el objetivo de diversificar la matriz energética los crudos son cortados hoy en día en un 10% con biocombustible, es así que un aumento del consumo de biocombustible solo refleja un aumento en el consumo de nafta y gas oil.

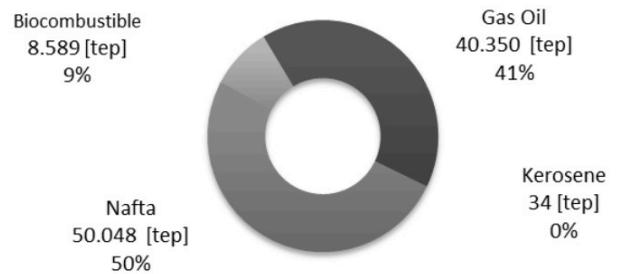


Fig. 4: Distribución del consumo de combustible por tipo de derivado. Año 2015.

b. Definición de indicadores a utilizar

- Consumo energético total por habitante [tep/hab]. (2014-2015).

La determinación del indicador para la serie 2014-2015 permite apreciar la necesidad de implementar políticas energéticas que aborde el incremento del consumo. Como se indica en la Tabla 3, el consumo energético por habitante presenta un aumento, esto se debe a que el incremento del consumo no corresponde solo al aumento de la población. El consumo presenta un incremento del 7% mientras que el aumento de la población es de 1%.

- Consumo eléctrico total por habitante [kWh/hab]. (2014-2015).

Al igual que el indicador anterior, el consumo eléctrico por habitante presenta un incremento. En la Tabla

4, se puede ver que el consumo por habitante pasa de 1994 [kWh/hab] a 2093 [kWh/hab], significando un aumento del 6% de consumo por habitante.

Año	Consumo energético total [tep]	Habitantes [hab]	Consumo energético total por habitante [tep/hab]
2014	276.142	411.132	0,67
2015	295.994	414.188	0,71

Tabla 3: Consumo energético total por habitante.

Año	Consumo eléctrico total [kWh]	Habitantes [hab]	Consumo eléctrico total por habitante [kWh/hab]
2014	819.747.014	411.132	1994
2015	866.909.494	414.188	2093

Tabla 4: Consumo eléctrico total por habitante.

· Emisión de CO2 por habitante [t/hab]. (2014 - 2015)

Siguiendo con la metodología, inicialmente se obtienen las emisiones en toneladas (t) de CO2. A partir de las Figura 5 y Figura 6 se puede concluir que la distribución de emisiones por tipo de energético sigue el mismo patrón para los dos períodos en análisis, con el debido incremento en correspondencia al aumento del consumo. Como se observa la energía eléctrica es la que mayores emisiones presenta, esto se relaciona con la característica de generación de electricidad en la Argentina, donde su mayor fuente de generación es a base de combustibles fósiles.

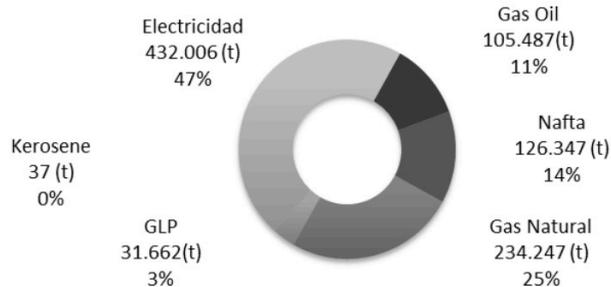


Fig. 5: Distribución porcentual de emisiones de CO2 por tipo de energético. Año 2014.



Fig. 6: Distribución porcentual de emisiones de CO2 por tipo de energético. Año 2015.

Debido a que la forma de consumir de los habitantes no presenta modificaciones, es decir que, siguen optando por las mismas fuentes y en similares proporciones. Y en correspondencia con el aumento del consumo energético por habitante, se registra un aumento de las emisiones de CO2, como se puede apreciar en la Tabla 5. Esta situación es opuesta a lo que se persigue como ideal, dado que lo que se pretende es lograr que los consumidores cesen o disminuyan las cantidades insumidas de energéticos escasos y se inclinen por un uso más eficiente de la energía, disminuyendo de esta forma las emisiones. Es decir que el problema de emisiones viene condicionado por la cantidad y el tipo de energético consumido.

Año	Emisiones totales de CO2 [t]	Habitantes [hab]	Toneladas emitidas unitarias CO2 [t/hab]
2014	929.788	411132	2,26
2015	994.492	414188	2,40

Tabla 5: Toneladas de CO2 emitidas por habitante.

c. Planteo del diagrama causal para modelar el consumo energético de la Ciudad de Santa Fe

En función de los datos recaudados, correspondientes a los años 2014 y 2015 de la Ciudad de Santa

Fe y luego de hacer un sencillo análisis, se define la estructura básica del diagrama causal, identificando como variable principales del sistema: al consumo, la población y las emisiones de CO2.

En base al comportamiento expuesto en la Tabla VI, se establecen las relaciones causales, quedando definida, como se muestra en la Figura 7, la estructura básica del diagrama causal del comportamiento energético de la Ciudad de Santa Fe.

Año	Consumo [tep]	Población [N° de habitantes]	Emisiones CO ₂ [t]
2014	276.142	411132	929.788
2015	295.994	414188	994.591

Tabla 6: Resumen de información recaudada.

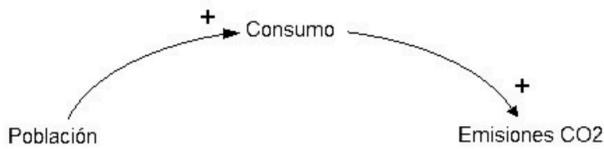


Fig. 7: Estructura básica del diagrama causal del comportamiento energético.

Es preciso aclarar que el análisis bajo la dinámica de sistema recién ha comenzado y solo se dio inicio a la identificación de la estructura básica.

Se pretende en un futuro, hacer un estudio más profundo, incorporando más información a la base de datos, con el objetivo de complejizando el diagrama para luego cuantificar el planteo y definir ecuaciones diferenciales que permitan simular el comportamiento energético de la Ciudad de Santa Fe.

CONCLUSIONES

En función de la metodología y del análisis de la información energética del consumo final en la Ciudad de Santa Fe, se puede concluir los siguientes puntos:

La distribución porcentual del consumo final de los distintos energéticos en la Ciudad de Santa Fe se mantiene sin variaciones en los años 2014 y 2015.

Existe una alta dependencia de los habitantes a consumir recursos escasos como fuente de energía.

Se observa un crecimiento del consumo energético y de emisiones de CO2 por habitante.

Se logró determinar la estructura básica del diagrama causal del sistema en análisis.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la Empresa Provincial de Energía (EPE), Cooperativa Setúbal y Litoral Gas S.A. por el aporte de los datos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2012). *Perspectivas Ambientales de la OCDE hacia 2050: Consecuencias de la Inacción*. <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/oecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm>

Piebalgs, Andris. (2007). *Energía para un Mundo Cambiante: La Nueva Política Energética Europea*. Colección Mediterráneo Económico: "Europa en la encrucijada", N° 12.

Consejo Mundial de Energía. (2014). https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/WEC_16_page_document_21.3.14_ES_FINAL.pdf

Bravo, Victor. (2012). *La Matriz Energética Argentina y La Política Energética*. Bariloche Semanal, Revista digital. <http://www.barilochesemanal.com.ar/noticias/la-matriz-energetica-argentina-y-la-politica-energetica-67>

Stella, Jose. (2012). "Políticas Energéticas: una metodología para su diseño". *Jornadas de Energía para un Desarrollo Sustentable 2012*.

Portillo, R., Tymoschuk, A.R. (2012). *Modelo Dinámico para el Estudio de la Situación Energética en la ciudad*

de Santa Fe. Congreso: X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas 2012.- UADE. Buenos Aires 2012.

Gonzalez, Dianela, Romero, Sebastián. (2015). *Estudio preliminar del Balance Energético de la Ciudad Santa Fe*. Jornada de Jóvenes Investigadores 2015.

Organización Latinoamericana de Energía. (2011). *Manual de Estadísticas Energéticas*. http://www.olade.org/sites/default/files/img_publicaciones/Manual%20de%20Estadisticas%20Energeticas%20de%20OLADE.pdf

2da Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2007)

<http://unfccc.int/resource/docs/natc/argnc2s.pdf>

Instituto Provincial de Estadística y Censos. (Consultado 28/06/2016). *Población estimada al 1° de julio de ambos sexos según departamento y localidad*. Provincia de Santa Fe. Años 2010-2025.

[https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/193575/\(subtema\)/93664](https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/193575/(subtema)/93664)

Ministerio de Energía y Minería. Presidencia de la Nación. *Factor de Emisión de CO2*. (2015) <http://www.energia.gob.ar/contenido?s/verpagina.php?idpagina=2311>