

METODOLOGÍA PARA PROYECCIONES DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS NATURAL

Diciembre 2020

Contenido

PRESENTACIÓN	4
CONCEPTOS BÁSICOS	6
1. ANTECEDENTES	7
1.1 El mercado	7
1.2 El contexto institucional desde las funciones de la UPME	10
2. DISEÑO DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA DERIVADA	14
2.1 DISEÑO TEMÁTICO METODOLÓGICO	14
2.1.1. Necesidades de información	14
2.1.2. Objetivo general	15
2.1.3 Objetivo específicos	15
2.1.4. Alcance temático	15
2.1.5. Marco de referencia	16
2.1.6. Plan de resultados	17
2.1.7. Nomenclaturas y clasificaciones utilizadas	18
2.2 MÉTODO DE ELABORACIÓN PARA OPERACIONES ESTADÍSTICAS DERIVADAS	19
2.2.1. Definición de las fuentes de información:	19
2.2.2. Validación de las fuentes de información	22
2.2.3. Método general de cálculo	22
2.3. HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS INFORMÁTICAS UTILIZADAS	42
2.4. DISEÑO DE MÉTODOS Y MECANISMOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD	43

2.5. DISEÑO DEL ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
2.5.1. Análisis estadístico	44
2.5.2. Análisis de contexto	44
2.5.3. Comités de expertos	44
2.6. DISEÑO DE LA DIFUSIÓN	44
2.6.1. Administración del repositorio de datos	45
2.6.2. Productos e instrumentos de difusión	45
2.7. PROCESO DE EVALUACIÓN	46
GLOSARIO	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	50

PRESENTACIÓN

El cronista de Bogotá Pedro María Ibáñez mostró algunas de las características de la vida a principios del siglo XX, a la vez que señaló ciertos aspectos de los servicios de alumbrado en el siglo XIX. Comentó que en los primeros días del mes de agosto de 1819

Santafé de Bogotá pasaba por una triste situación. Los habitantes se recogían en sus casas temprano, cerraban puertas y ventanas y hacían vida de familia en el lugar más retirado de la casa y en voz baja comentaban las noticias recibidas sobre el estado de la guerra. Rara vez se percibían las pisadas cautelosas de quien buscaba un medicamento en la botica de San Juan de Dios, única que mantenía ventanilla abierta y con luz, que aparecía esplendorosa entre las tinieblas de la ciudad, que carecía de alumbrado público¹.

Así como lo describe el cronista, así era nuestro país a finales del siglo XIX, situación se extendió hasta los días en que se instalaron las primeras luminarias a principios del siglo XX en la capital. Al día de hoy han pasado muchas cosas. Hasta hace solo 25 años, la cobertura de energía eléctrica era del 75%, hoy se puede hablar de un 100% para las áreas urbanas, faltando algo más del 3% para lo rural.

Pero esta historia no es completa sin hacer alusión al uso de todos los energéticos fósiles, que hasta el día de hoy se siguen usando, con lo que se puede afirmar que el país energético cuenta con una infraestructura sólida y una matriz que comienza a diversificarse con la entrada las fuentes no convencionales en el corto plazo. Entre líneas se encuentran las actividades desarrolladas por las instituciones para que esto sea una realidad, muchas de las cuales pasan desapercibidas dada la falta de documentación al respecto.

Esta breve introducción con un contexto histórico nos remite a tiempos donde posiblemente no se hacían proyecciones como las que se hacen hoy en día con una precisión, que con un grado de incertidumbre que no se puede evitar, si permiten dar confianza en el futuro energético del país.

Parafraseando algunas referencias del PEN, cuando se realizan proyecciones de cualquier tipo, no se busca predecir el futuro, sino lograr un mejor entendimiento de las incertidumbres que se enfrentan. Para el caso de las proyecciones de la demanda de energéticos, estas incertidumbres giran entorno a múltiples factores, entre los cuales están los socioeconómicos que actualmente se ven alterados por

¹ Pedro María Ibáñez. Crónicas de Bogotá, T. IV, Bogotá, Academia de Historia de Bogotá, Tercer Mundo Editores, 1989, pp. 26 y 27

efecto de la pandemia que se experimenta a nivel mundial y cuyas consecuencias no son fáciles de dimensionar todavía.

En esta época también se habla de estructurar la información para ser procesada con metodologías y el uso de tics (*e-views* en nuestro caso), y proyectar la demanda de energía eléctrica, gas natural, y combustibles líquidos, que con la información proveniente de fuentes reconocidas e idóneas ayudan a mitigar las incertidumbres presentes en este tipo de ejercicios.

Este documento que presenta la UPME, describe con detalle la metodología usada para calcular las proyecciones de demanda de energéticos: energía eléctrica, gas natural y combustibles líquidos.

Las proyecciones de demanda de energéticos son un insumo fundamental en la planeación del sector, la toma de decisiones de inversión en el sector privado y el diseño de política pública para diversas autoridades y por si fuera poca evidencia la necesidad de tener la memoria del quehacer institucional, en estos tiempos donde todo cambia tan rápido, se hace más imperativo documentar el quehacer de nuestras entidades y para eso es indispensable que la información resultante de este ejercicio se sustente en la rigurosidad técnica y que su documentación ayude a la confiabilidad del proceso y su posibilidad de replicabilidad en cualquier momento y lugar. De esta manera se logrará, que los ajustes en momentos de cambio/coyuntura, tengan mejores sustentos tratando de evitar que se repitan historias fallidas.

En últimas, esta publicación se realiza con el propósito de garantizar la calidad del proceso estadístico asociado a la proyección de demanda de los energéticos más importantes para nuestra economía.

La UPME nace como respuesta a una coyuntura nunca vivida en el país en asuntos energéticos, asignándole funciones de planear y visualizar las necesidades energéticas, tarea que ha cumplido en sus 25 años de funcionamiento.

CONCEPTOS BÁSICOS

Operación estadística ¹

Se define como un conjunto de procesos y actividades que parten de la recolección sistemática de datos y conducen a la producción de resultados agregados. Están basadas en censos, encuestas por muestreo, registros administrativos y estadísticas derivadas.

Registro administrativo ²

Corresponde a la información que consignan las entidades para evidenciar la ocurrencia de un hecho en ejercicio de sus funciones. Los registros pueden ser sujeto de regulación o control resultante de necesidades fiscales, administrativas, tributarias u otras, creado con la finalidad de viabilizar la administración del Estado o para fiscalizar el cumplimiento de obligaciones legales de la sociedad ³. Surgen de un marco legal institucional con el fin de hacer más reciente la administración pública de acuerdo con unas funciones misionales. Son de carácter permanente en su obtención y útiles para el aprovechamiento estadístico (INEGI, 2010, 2012).

Operación estadística derivada ⁴

Método que integra datos provenientes de otras operaciones estadísticas, valiéndose de un modelo o proceso específico, para la producción de nueva información estadística. En su condición de estadísticas derivadas no requieren operativo de campo para la recolección de información, y para su producción se nutren de los datos recolectados o procesados por otras operaciones estadísticas.

¹ Basado en la Resolución 1503 de 2011, del DANE, que reglamenta la difusión de la información estadística.

² Concepto adaptado por el equipo de trabajo, basándose en los documentos: Register based statistics in the Nordic countries. (UNECE, 2007); Captación en registros administrativos. (INEGI, 2010); Proceso estándar para el aprovechamiento de registros administrativos. (INEGI, 2012), y Registros administrativos, calidad de los datos y credibilidad pública: presentación y debate de los temas sustantivos de la segunda reunión de la Conferencia Estadística de las Américas de la CEPAL. (CEPAL, 2003).

³ Consultado en: Captación en registros administrativos. (INEGI, 2010), Proceso estándar para el aprovechamiento de registros administrativos. (INEGI, 2012) y Registros administrativos, calidad de los datos y credibilidad pública: presentación y debate de los temas sustantivos de la segunda reunión de la Conferencia Estadística de las Américas de la CEPAL. (CEPAL, 2003).

⁴ Tomado de la Guía para la elaboración de documentos metodológicos estándar de las operaciones estadísticas, que se puede consultar en: <http://www.dane.gov.co/les/sen/regulacion/guias/GEDMOE.pdf>.

1. ANTECEDENTES

La dinámica del consumo eléctrico del país puede ser descrita desde finales del siglo XIX cuando comenzó el uso de las primeras lámparas iluminadas con energía eléctrica que fueron encendidas en Bogotá para el alumbrado público en las calles de la ciudad, y que con los años se extendió para el uso comercial, residencial e industrial, tanto en las ciudades principales del país, como en poblaciones rurales.

Acompañando este proceso de electrificación, se encuentra la leña como uno de los energéticos más usados en las zonas rurales, el carbón vegetal y el carbón mineral como el elemento que permitió la industrialización con la máquina de vapor, así como el petróleo y el gas en épocas más recientes. Muchos de estos energéticos siguen siendo parte de la normalidad, pero cada día con una tendencia mayor a usar otras fuentes como el agua, el sol y el viento principalmente para generar energía eléctrica.

Ya fue cosa del pasado adelantar el reloj. La generación de energía eléctrica del país en 1967 correspondía a lo que hoy se produce en un mes, 6000 Gwh/mes. Ya el país cuenta con sistema interconectado con una red de más 26.000 km, con una capacidad instalada mayor a 18.000 MW y se ha avanzado de ser importadores netos de hidrocarburos en los 70's, a contar con más de 30 campos activos, dos refinerías y una red de transporte de 2500 km a 500Kv, más de 10000 km a 230 Kv, y más de 10000 km entre 110 y 115 Kv. En los 50's Ecopetrol producía 30.000 mil barriles diarios.²

La idea de este capítulo es contextualizar una actividad que hace la UPME, mediante la cual trata de estimar a futuro las necesidades energéticas del país, y para eso, no sobra mirar cuál ha sido la evolución del consumo/demanda en los últimos 25 años, cuáles han sido algunos hitos en temas energéticos, como ha sido la evolución del mercado y sus empresas, así como la relación que tiene el mundo energético con el desarrollo económico y social.

1.1 El mercado

“...La oferta de energía primaria en Colombia está compuesta predominantemente por combustibles fósiles (carbón y petróleo), con una participación cercana al 77% del total mientras que la hidroelectricidad, el gas natural y las fuentes no convencionales de energía renovable (bagazo, biocombustibles y leña) suman el restante 23%. Al observar la evolución histórica de la oferta y la demanda de energía de nuestro país durante las últimas cuatro décadas, se evidencian fuertes cambios tanto en los usos finales de la energía como en la composición de la matriz energética de la economía. Así, en los 43 años comprendidos entre 1975 y 2018, el consumo final de energía se incrementó un 78%, pasando de 735 PJ a 1.308 PJ, que equivale a una tasa de crecimiento promedio anual de 1,81%. Este crecimiento se explica principalmente por el aumento del consumo en la industria manufacturera y en el sector transporte, que presentaron tasas promedio anuales de crecimiento del 2,4% y 5,9% respectivamente. El incremento en estos sectores

² Paratec, ecopetrol, ISA, EEB

contrasta con la disminución de consumo de energía del sector residencial, que era el más intensivo en 1975 con un 46% de participación en la demanda de energía, debido principalmente a la sustitución del consumo de leña por la penetración del gas combustible (reducción de 63% en el período de análisis)...PEN 2020".

Otros elementos de la oferta son:

OFERTA

17518_{MW} capacidad efectiva - 11937 hidráulica - 5386 térmica - 149 cogenerador - 45 solar-eólica	50 ríos se usan par producir la energía del país	700.000 barriles de oil se exportan	1000 Km de líneas de transmisión	2250 MW de energía con fuentes renovables a 2022
786_{GPC} de gas producidos en 2019	2000 Mll de barriles de reservas de petróleo tiene el país	3 TPC de reservas de gas tiene el país	5 mlls de toneladas de carbón se usan para generar energía eléctrica	6.5 años reservas de petróleo
880.000 barriles de petróleo se producen al día en 2019				

De los actores, usuarios e infraestructura del Mercado Eléctrico Colombiano resaltan:

AGENTES, INFRAESTRUCTURA, USUARIOS

248 agentes de mercado en EE - 112 en comercialización - 38 en distribución - 83 en generación - 15 en transporte	18%_{PIB} suministro electricidad, gas y agua. (\$constantes 2005)	26000 km líneas de transmisión	2 oleoductos cañon limón xx kilómetros transandino xx kilómetros	1 gasoducto
24 embalses	16000 Gwh embalse útil	10 mlls de usuarios de energía eléctrica	1500000 colombianos cocinan con leña	1 regasificadora
300 pozos activos				

Según el último dato del Índice de Cobertura de Energía Eléctrica (ICEE) reportado en 2018, el 96,53% de la población cuenta con energía eléctrica en sus hogares. fuente SIEL.

Índice de Cobertura de Energía

METODOLOGÍA UPME 2018 - publicado Diciembre

			DATOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ICEE (2)		VIVIENDAS SIN SERVICIO - VSS			ÍNDICE DE COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA - ICEE			
Depto	Cod-DANE	Municipio	Total Viviendas	Fuente de información	VSS Cabecera Municipal	VSS Resto	VSS Totales	Fuente de información	ICEE cabecera municipal	ICEE resto	ICEE Total
TOTAL NACIONAL			14.294.753		52.732	443.256	495.988		99,52%	86,83%	96,53%

1) Contiene los usuarios de ZNI reportados por el IPSE
 2) Respecto a la información de viviendas:
 * Viv. PP CNPV/18: Corresponde al reporte de viviendas
 ** Viv. PP, PA y UT CNPV/18: Corresponde al reporte de viviendas

La UPME, mediante el Decreto 28 de 1995 es la entidad encargada de "establecer los requerimientos energéticos de la población y los agentes económicos del país, con base en proyecciones de demanda que se elaboren teniendo en cuenta la evolución más probable de las variables demográficas y económicas y de precios de los recursos energéticos".

En cumplimiento de dicha función, se identifican impactos por efecto de los cambios en diversos factores que tienen que ver con el uso de los diferentes energéticos. Así se ha hecho para monitorear las medidas que se han tomado para mitigar los efectos del COVID-19, en el consumo de estos energéticos. Recientemente este seguimiento muestra que la demanda de energía se redujo en el mes de abril de 2020 en 16,92% frente a lo proyectado por la UPME en el escenario medio y 11,10% en lo que va corrido del mes de mayo. Por su parte, el consumo de gas natural mostró diferencias frente a lo esperado del 38,26% y 38,85% para esos dos meses, respectivamente. Dado que una situación de esta naturaleza no se tenía contemplada en las proyecciones publicadas en 2019, se hace necesario replantear los posibles futuros del consumo, tanto de energía eléctrica como de gas natural³.

Frente a estas y otras dificultades, la UPME realiza reuniones con los distintos estamentos gubernamentales en materia de política macroeconómica y energética para identificar los posibles impactos y escenarios futuros.

³ Comunicado de la dirección de la UPME abril 2020

DEMANDA

1280 Mw nuevas FNCE entran en 2021	400.000 Mpc gas natural ofertados	5000000 mll de galones de gasolina se consumen a diario	residencial...	-
10 Mw de energía eléctrica.	16500 Mw instalados de EE	industrial...	5000000 mll de galones de diesel se consumen a diario	movilidad
800 mil barriles de petróleo se producen al día...				

1.2 El contexto institucional desde las funciones de la UPME

“...Establecer los requerimientos mineros y energéticos de la población y los agentes económicos del país, con base en proyecciones de demanda que tomen en cuenta la evolución más probable de las variables explicativas en un contexto nacional e internacional”, es el primer artículo del decreto⁴ que le da vida a la nueva upme en el 2013, y que es parte de su historia de su ADN. La segunda función del mismo decreto: “...Planear las alternativas para satisfacer los requerimientos mineros y energéticos, teniendo en cuenta los recursos convencionales y no convencionales, según criterios tecnológicos, económicos, sociales y ambientales...”. Decreto 1258/13.

Este encabezado le da vida a las dos primeras, y seguramente por eso, las dos funciones más importantes de la UPME que en el contexto estadístico se ciñen a lo que técnicamente se define como operación estadística derivada. En su tercera! reestructuración, estas funciones se han mantenido en el tiempo como parte de la esencia misional de la entidad

Con las proyecciones se han tenido hitos energéticos e institucionales que se abordarán este capítulo, tratando de hacer una relación entre éstos en los últimos 25 años principalmente, período en el cual se han gestado grandes cambios a nivel mundial también en asuntos de energía.

Con base en artículos del siglo pasado⁵, se observa que a partir de los años 80 el sector eléctrico colombiano entra en crisis (al igual que la mayoría de países de América Latina), como consecuencia de: 1) Múltiples ineficiencias en la planeación, estructuración y coordinación de las entidades del sector, que conducen al desarrollo de grandes proyectos de generación, con sobrecostos y atrasos considerables; 2) subsidio inadecuado de tarifas, y 3) politización de las empresas estatales. El deterioro en el desempeño del sector

⁴ Decreto 1258 de 2013

⁵ revistas.javeriana.edu.co

lleva a que finalmente éste se convierta en una gran carga para el Estado, ocasionando la quiebra del sector y como consecuencia, el gran racionamiento a nivel nacional en el periodo comprendido entre 1991 y 1992.

Hoy comienzan a consolidarse señales tecnológicas que tendrán alto impacto en los próximos años (AMI p.e), no solo por ser la tendencia, sino porque las nuevas circunstancias así lo demandan. Es en esta dirección que la documentación acá presentada quiere identificar puntos clave en la gestión de información de la entidad susceptibles de ser mejorados para poder determinar de manera más precisa las necesidades del país en materia energética considerando múltiples aspectos socioeconómicos, y otros que van desde el estudio de la evolución de las tecnologías energética e informacionales, hasta los que deben abordarse a nivel organizacional para acoplarse en el nuevo mundo.

Pero esto es solo el establecimiento de responsabilidades a través de las funciones asignadas, lo esencial en el ejercicio de estas funciones está en sus propósitos, cuyo objetivo superior está en observar múltiples aspectos del desarrollo energético, para que el país esté preparado para satisfacer las necesidades energéticas de todos los sectores.

Según cuentan algunos documentos periodísticos⁶, hace 27 años el país sufrió una de las crisis más caóticas de la historia, por cuenta del fenómeno del niño entre el 02 de mayo de 1992 y el 7 de febrero de 1993, donde Colombia se enfrentó a un racionamiento energético que se recuerda como la famosa "hora Gaviria". El sector eléctrico pasaba por una crisis estructural, los embalses estaban casi vacíos y se necesitaban aproximadamente 1.900 aguaceros para volver a estabilizar la situación energética, situación obligó a buscar alternativas que garantizaran la seguridad energética del país.

"...Es el tiempo de que Colombia y las regiones más apartadas puedan recibir soluciones reales y contundentes, ya que por ejemplo, en el caso de la zona norte del país, los problemas de energía y costos tienen inconforme a la mayoría de las poblaciones, y muchos de los proyectos que se tienen proyectados son específicamente en estas regiones debido a sus privilegiadas zonas geográficas. La Transformación energética parece ya una realidad, pero por lo pronto se espera que el Ministerio de Energía realice su segunda subasta eléctrica para que más empresas puedan participar en proyectos de generación de energías biomasa, eólicas, solares e hidráulicas. El mundo está cambiando y los modelos tecnológicos de hoy exigen mayor innovación y potencialización que vayan al ritmo de la modernización. Las energías renovables le dan un semblante esperanzador al país y un derecho a cientos de familias de lugares recónditos que durante 40 años no tuvieron energía, que cocinaban a leña porque no tenían gas y no se podían informar de lo que pasaba diariamente en su país. Aunque falta mucho por avanzar ya se están dando paso para esta nueva energía que ya es una realidad en el mundo entero⁷..."

Como parte de la ambientación y contexto de este documento que pretende examinar en detalle algunos aspectos esenciales de la gestión de información, cabe mencionar algunos de los hitos más importantes en el desarrollo energético del país, tratando de hacer un enlace retrospectivo con las actividades de proyección de demanda energética que ha realizado la UPME, tratando de ver las relaciones que pudieran existir entre las dos.

⁶ La gran revolución energética, repository.urosario.edu.co,

⁷ ibidem

En relación a los hitos energéticos⁸:

HITOS ENERGÍA SIGLO XX

<p>1900-1930</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1900 - El charquito, alumbrado eléctrico en Bogotá, 6000 bombillos • 1918 - La cira-infantas, empieza con 42 barriles día, hoy produce 50.000 • 1922 - Inicios de Refinería de barrancabermeja • 1929 - Central guadalupe I, primer proyecto por etapas (demanda del país 9500 Kw/h) 	<p>1990-2000</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1992-1993 hora gaviria: racionamiento. • 1992, entra en operación Guavio • 1994 - leyes 142 y 143, entra participación privada y separación de actividades de la cadena • 1996 - Creación de Ecogás • 1996 - inicia operación gasoducto ballenas-barranca en 18" • 2000 - Ecopetrol vende cerrejón a BHP Billiton, ISA emite acciones al público • Nace UPME
<p>1940-1960</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1940 - Nace Ministerio de Minas y energía • 1950 - Hay 16 empresas departamentales de energía, capacidad instalada 278 Mw • 1951 - Nace ECOPETROL • 1967 - Nace ISA 	<p>1970-1990</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1970 - Oleoducto transandino • 1972 - Chuchupa-Ballenas, gas contribuye a la disminución del consumo de leña • 1976 - Central hidroeléctrica Chivor • 1983 - Se descubre Cañolímón, producción en 1985 y oleoducto inicia construcción en el 86 • 1984 - Primer embarque de carbón del Cerrejón • 1990 - análisis de la criticidad del sistema

HITOS ENERGÍA SIGLO XXI

<p>2000-2010</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2004 - entra a operar Jepirachi • 2008 - Se realiza la primera subasta de obligaciones de energía en firme • 2011-2018. Se presentaron 9 proyectos que brindarán una capacidad adicional al sistema eléctrico de 3.420 Mw. • 2012 - Se crea la ANM • 2013- UPME se reestructura 	<p>2010-2020</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2014 - Ley 1715 FNCE • 2016 - Regasificadora de Cartagena • Se construyeron 15 centrales entre 2008 y 2018, y en 2016 entra la refinería de Cartagena • 2019, se comprometen 2500 Mw de energías renovables, FNCE • 16500Mw instalados de potencia hoy
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

HITOS INSTITUCIONALES SIGLO XX-XXI

<p>1994-1997</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1992-1993 hora gaviria: racionamiento, entra en operación Guavio • 1994: publicación plan energético nacional (elaborado por la antigua comisión nacional de energía) que busca <i>abastecimiento pleno y eficiente, optimización de contribución de exportaciones, reforma institucional del sector, vigencia de un sistema de precios como mecanismo para asignación de recursos</i> • 1997 actualización plan energético nacional, <i>autosuficiencia energética sostenible, incrementando contribución de exportaciones de energía en condiciones de eficiencia, competitividad y sostenibilidad ambiental</i> 	<p>1997-2010</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2001 UPME asume la responsabilidad de determinar el volumen máximo de combustibles líquidos derivados del petróleo en zonas de frontera • 2003 actualización plan energético nacional estrategia energética integral visión 2003-2020. <i>incorpora uso racional de energía y asuntos ambientales y enfatiza en aspectos de investigación y desarrollo</i> • 2005 <i>proyectos de integración energética regional orientados al logro de las metas del PEN</i> • 2007 actualización plan energético nacional contextos y estrategias 2006-2025 • 2009 <i>seguimiento al fenómeno del niño vs racionamiento</i> • 2010 <i>programa coordinación gas-electricidad</i> • 2010 <i>Plan energético nacional 2010</i>
<p>2010-2020</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2011-2012 se adopta plan de expansión de transmisión a 2025. construcción de 7 obras para cubrir la demanda, se actualizan los criterios del PIEC y se elabora el balance preliminar de gas • 2014 ley 1715 	<p>2010-2020</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2011-2012 se adopta plan de expansión de transmisión a 2025. construcción de 7 obras para cubrir la demanda, se actualizan los criterios del PIEC y se elabora el balance preliminar de gas • 2014 ley 1715

HITOS UPME SIGLO XX-XXI

<p>1994-1997</p> <ul style="list-style-type: none"> • la entidad pasa de 8 cargos de planta con que fue creada, a 51. <p>funciones mas relevantes....</p>	<p>1997-2010</p> <ul style="list-style-type: none"> • en 2004 pasa a tener 66 cargos. • en 2009 se crea el consejo directivo de la UPME <p>funciones mas relevantes</p>
<p>2010-2020</p> <ul style="list-style-type: none"> • UPME cumple 20 años • pasa a tener 126 cargos <p>funciones mas relevantes</p>	<p>2010-2020</p> <ul style="list-style-type: none"> • UPME cumple 20 años • pasa a tener 126 cargos <p>funciones mas relevantes</p>

⁸ Cátedra minero-energética 2019, MME 80 años

Todos los aspectos mencionados anteriormente, brindan el contexto de una de las actividades que permiten identificar las necesidades futuras de energía del país, y que son responsabilidad de la UPME. En los siguientes numerales se podrán ver detalles de aspectos muy particulares del desarrollo de esta actividad.

Lo que viene tiene como marco de referencia en mejores prácticas en gestión de información están los Lineamientos para documentar la metodología de operaciones estadísticas derivadas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), como coordinador del Sistema Estadístico Nacional (SEN) y en el marco del proyecto de Planificación y Armonización Estadística, trabaja por el fortalecimiento y consolidación del SEN mediante la producción de estadísticas estratégicas; la generación, adaptación, adopción y difusión de estándares; la consolidación y armonización de la información estadística y la articulación de instrumentos, actores, iniciativas y productos.

El DANE desarrolló una serie de lineamientos que contribuyen a la visualización y el entendimiento del proceso estadístico. Allí se presentan de manera estándar, completa y de fácil lectura las principales características técnicas de los procesos y subprocesos de cada investigación, lo que permite su análisis, control, replicabilidad y evaluación.

2. DISEÑO DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA DERIVADA

En esta sección se describen los principales componentes metodológicos de las proyecciones de demanda de energía eléctrica, y potencia y gas natural que cubren desde del diseño de la investigación, el diseño temático, la definición de los objetivos generales y específicos, el marco teórico, conceptual y legal, el plan de resultados, hasta las clasificaciones económicas utilizadas entre otros.

Posteriormente se explican los procesos técnicos de cálculo, de procesamiento y análisis de la información que fueron contemplados en la planeación y formulación de las proyecciones de demanda.

2.1 DISEÑO TEMÁTICO METODOLÓGICO

2.1.1. Necesidades de información

Sin duda alguna el desempeño económico de un país depende fundamentalmente del aporte de la variable energía dentro de la estructura de producción, así como del uso final que hagan de esta los distintos agentes. Cómo ha evolucionado esta variable en el tiempo, sus determinantes, así como conocer las estimaciones de su comportamiento futuro se convierte en un insumo necesario y estratégico para la planeación de la infraestructura y el diseño de la política económica energética de Colombia.

Lo anterior valida la necesidad de una operación estadística que identifique los requerimientos de información energética en función de los los diferentes tipos de usuarios que demandan dicha información.

En este sentido, la UPME busca garantizar que las necesidades de información para la toma de decisiones en materia energética del país sean cubiertas desde diferentes perspectivas. Dentro de los productos estadísticos de la UPME se encuentran las estimaciones de demanda de energía eléctrica y gas natural, cuyo objetivo es describir el estado actual del consumo de energéticos y proyectar el rumbo probable del sector para dar señales de inversión sectorial tanto a las entidades competentes de la expansión del sistema como al sector privado.

Entre las principales necesidades de información que cubre la publicación de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y potencia, y gas natural están:

- Permitir identificar los elementos que explican el comportamiento de la demanda de energéticos a largo plazo
- Ser insumo para la definición de expansión de infraestructura de los planes sectoriales, tanto de generación y transmisión eléctrica como de transporte de gas natural y combustibles líquidos.
- Las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural permitirán que la planeación de esa infraestructura contemple toda aquella información relevante en la optimización de costos, así como la identificación de riesgos asociados en la prestación del servicio.
- Los modelos de proyección de demanda de energía eléctrica y gas natural permiten identificar nuevas necesidades de los planeadores y avanzar hacia escenarios más competitivos proponiendo

una ruta de trabajo de planeación hacia una matriz más diversificada y en la que se refleje una presencia más fuerte de las energías no convencionales en línea a su vez con los cada vez más frecuentes compromisos ambientales internacionales.

2.1.2. Objetivo general

Construir escenarios de proyecciones en unidades físicas para la demanda de energía eléctrica (GWh) y gas natural (GBTUD) con el fin de que sean insumos para la planeación de infraestructura e inversión en el sector minero energético colombiano teniendo en cuenta variables demográficas, sociales, económicas y de precios, así como de otra información del contexto internacional que tenga incidencia sobre el sector energético.

2.1.3 Objetivo específicos

- Identificar las variables económicas, sociales, demográficas, y de precios que explican el comportamiento de la demanda de energía eléctrica y gas natural.
- Modelar la relación de causalidad entre variables socio-económicas y la demanda de energía eléctrica y gas natural.
- Entender la relación existente entre la demanda de energía eléctrica y gas natural en Colombia y su relación con el contexto nacional e internacional.
- Construir modelos económicos que permitan explicar la posible evolución de la demanda de energía eléctrica y gas natural teniendo en cuenta variables económicas, sociales y demográficas.
- Presentar los escenarios más probables de demanda de energía eléctrica y gas natural en Colombia para el corto, mediano y largo plazo.

2.1.4. Alcance temático

Las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural que realiza la UPME tienen alcance nacional para un periodo de proyección de 15 años, y estas son realizadas para 2 energéticos: energía eléctrica y gas natural.

En energía eléctrica, se calculan proyecciones de demanda expresadas en GWh a nivel de Sistema Interconectado Nacional (SIN). De forma independiente, se estima el consumo proveniente de los grandes consumidores de energía (GCE). De igual forma, se estiman otros elementos tales como: la demanda de

posibles interconexiones con países vecinos, la demanda proveniente de vehículos eléctricos y las reducciones de demanda por generación distribuida y autogeneración.

Para el caso de gas natural, se calculan las posibles proyecciones de demanda por sector de consumo y regiones expresadas en GBTUD, para el total nacional, residencial, terciario, industrial, petroquímico, petrolero, gas natural vehicular (GNV), termoeléctrico, y compresores.

2.1.5. Marco de referencia

Las proyecciones de energía eléctrica y gas natural realizadas por la UPME siguen recomendaciones de las Naciones Unidas (EIA, IEA) en materia de planeación energética. Los modelos desarrollados para las proyecciones de demanda han sido resultado de la utilización y/o adaptación de herramientas empleadas tradicionalmente en el sector energético.

Así, modelos como el MAED (Model for Analysis of Energy Demand, por sus siglas en inglés), aunque no es utilizado en las proyecciones de demanda, se convierte en una de las principales referencia internacionales para la planeación energética y es utilizado en la Unidad de Planeación Minero Energética para su planeación anual de largo plazo (por ejemplo en el Plan Energético Nacional - PEN). Sin embargo, aunque a nivel teórico se sugiere utilizar el MAED, para el caso particular de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas, la intensidad de datos que necesita este modelo no permite la utilización generalizada por la mayoría de países, razón por la cual para el caso de las proyecciones de demanda se utilizan modelos econométricos que permiten lograr el objetivo de realizar pronósticos con un menor número de variables.

Así, los modelos econométricos que se utilizan en las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural buscan analizar la relación en el tiempo de las variables de consumo con otras de tipo social (población o número de usuarios), económico (PIB) y ambiental (temperatura). Mediante modelos multivariados de series de tiempo (Vectores Auto regresivos - VAR- o Vectores de Corrección del Error -VEC-) se proyecta la senda de consumo más probable de acuerdo con los comportamientos históricos de las variables utilizadas.

Por su parte, dentro de la literatura nacional, para las estimaciones de demanda se utilizan los desarrollos de CASTAÑO V., ELKIN. (1994) - Allí, se propone una metodología que combina distintos pronósticos econométricos de estimación de demanda de energéticos los cuales posteriormente son agregados mediante el uso de ponderadores y ofrecen resultados con las propiedades de bondad y precisión deseadas.

Adicionalmente, las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural se construyen a partir de información de indicadores estadísticos, registros administrativos, análisis sectoriales y bases de datos del sector minero energético. Su marco conceptual se deriva de las recomendaciones internacionales para la compilación producción de estadísticas energéticas (International Recommendations for Energy Statistics - IRES, por sus siglas en inglés). Ese marco conceptual permite abordar los diferentes aspectos técnicos relacionados con la información energética, pero sobre todo del contexto estadístico en el que se deben desarrollar el análisis de la información energética, sus alcances, conceptos, clasificaciones, unidades de medida, conversiones, y buenas prácticas en la compilación de información. Este marco conceptual

garantiza que los ejercicios que se realicen en materia energética cumplan con estándares estadísticos con el fin de garantizar su solidez técnica, así como su comparabilidad internacional.

Marco legal

El Decreto 1258 de 2013 genera el marco legal en el cual se establece que el objeto la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, tendrá por objeto planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada con los agentes del sector minero energético, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos; producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones; y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en el logro de sus objetivos y metas.

Así, para el cumplimiento de su misionalidad, la Subdirección de Demanda tiene entre sus funciones legales ser responsable de establecer los requerimientos mineros y energéticos de la población y los agentes económicos del país por sector, uso y fuente, teniendo en cuenta el uso más eficiente de los recursos, con el apoyo de las subdirecciones técnicas. Así mismo, construir escenarios de demanda de energéticos destinados al mercado nacional e internacional, y realizar las correspondientes proyecciones de demanda, tomando en cuenta la evolución más probable de las variables demográficas, económicas y de precios, con proyección a la integración regional y mundial, dentro de una economía globalizada.

2.1.6. Plan de resultados

Los resultados de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural se presentan en la página web de la Subdirección de Demanda de la UPME y están dispuestos en formato tipo .xls y tipo .pdf. La publicación de los resultados del último período disponible, así como de la serie histórica, se encuentra en los siguientes enlaces:

<http://www.siel.gov.co/Inicio/Demanda/ProyeccionesdeDemanda/tabid/97/Default.aspx>

<http://www.sipg.gov.co/Inicio/SectorHidrocarburos/Proyecciones/tabid/125/language/es-ES/Default.aspx>

Por su parte, el rezago de publicación de los resultados anteriormente mencionados es de tres meses, es decir, la información en el período t corresponde al hecho económico sucedido en $t-3$. La información que se publica en cada período tiene carácter provisional y en la medida que la información fuente que se utiliza como insumo cambie o sea actualizada esta se revisa nuevamente con cada siguiente publicación.

Los resultados de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural se presentan en los siguientes cuadros de salida:

Energía eléctrica y potencia:

1. Proyección anual de la demanda energía eléctrica y potencia máxima (GWh-año)
2. Proyección mensual de la demanda energía eléctrica y potencia máxima (GWh-mes)
3. Proyección promedio mensual diaria de demanda energía eléctrica (GWh-día)

Gas Natural Proyección anual demanda de gas natural sectores de consumo y regiones (GBTUD)

1. Proyección anual demanda de gas natural sector petrolero (GBTUD)
2. Proyección anual demanda de gas natural sector termoeléctrico (GBTUD)
3. Proyección mensual demanda de gas natural sectores agregados (GBTUD)
4. Proyección mensual demanda de gas natural sector petrolero (GBTUD)
5. Proyección mensual demanda de gas natural sector termoeléctrico (GBTUD)

Finalmente, el plan de resultados de las proyecciones de demanda de energéticos contempla como cronograma de publicación un informe en el año; para publicación en julio.

2.1.7. Nomenclaturas y clasificaciones utilizadas

Con el fin de asegurar la comparación entre países, así como la comparabilidad y uso con otras información económica, las estadísticas energéticas utilizan la clasificación SIEC, Clasificación Estándar Internacional de Productos Energéticos (Standard International Energy Product Classification - SIEC por sus siglas en inglés).

La utilización de clasificaciones internacionales permiten generar estructuras de correspondencia entre otras clasificaciones económicas como la Clasificación Industrial Internacional Uniforme - CIIU⁹, Sistema Armonizado - SA¹⁰, Clasificación Central de Productos - CPC¹¹, entre otras. Muchos de los productos energéticos son transados internacionalmente por lo que clasificaciones internacionales familiares para las empresas como la del Sistema Armonizado (SA) permite una perfecta correspondencia con la utilización de la Clasificación Estándar Internacional de Productos Energéticos (SIEC)¹².

La utilización de la SIEC genera entre otras ventajas que el proceso de recolección de información así como de la compilación de información energética se haga de una manera más eficiente. Para lograr esto la SIEC define diez secciones para los diferentes combustibles, electricidad y calor, diferenciadas por su origen y características. El sistema jerárquico de la SIEC tiene cuatro grandes niveles, el primero son las secciones (primer dígito), seguido por las divisiones (segundo dígito), los grupos (tercer dígito) y finalmente las clases (cuarto dígito).

Los códigos SIEC utilizados en las proyecciones de energía eléctrica, gas natural, y combustibles líquidos se muestran en la tabla No. 1.

⁹ CIIU (Standard International Industrial Classification, ISIC, por sus siglas en inglés)

¹⁰ SA (Harmonised System, HS por sus siglas en inglés)

¹¹ CPC (Central Product Classification - CPC por sus siglas en inglés)

¹² <https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology/documents/IRES-es.pdf>, página 32

Tabla 1**Clasificación Internacional Uniforme de Productos Energéticos (SIEC)**

Energético	Código SIEC
Energía eléctrica	7000
Gas natural,	3000
Gasolina motor	4652
Diésel	4671
Jet fuel	4651

Fuente: <https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology/documents/IRES-es.pdf>

2.2 MÉTODO DE ELABORACIÓN PARA OPERACIONES ESTADÍSTICAS DERIVADAS

2.2.1. Definición de las fuentes de información:

Para el cálculo de las estimaciones de demanda de energéticos se utilizan fuentes de datos de la Subdirecciones técnicas de la UPME, de entidades del sector minero energético, de entidades externas al sector, así como información de entidades internacionales que producen información relacionada.

Dentro de la UPME, las principales fuentes de información provienen de la Subdirección de Hidrocarburos (precios de los combustibles líquidos y gas natural, consumos de los combustibles por tipo de agente), y de la Subdirección de Energía Eléctrica (planes de expansión eléctrica, conexión de grandes consumidores, generación proveniente de generadores distribuidos reportada por los operadores de red).

Dentro del sector minero energético se obtiene información de XM, ANH, ANM, IPSE, Concentra, Ecopetrol, Gestor del Mercado de gas natural - Bolsa Mercantil de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, IDEAM, y Superintendencia de Servicios Públicos.

Por su parte, las entidades por fuera del sector minero energético que principalmente proveen información son DANE, DIAN, DNP. Finalmente, el Fondo de Población de las Naciones Unidas, el Banco Mundial (estimaciones de crecimiento económico, estimaciones de población) y el Fondo Monetario Internacional

(estimaciones de crecimiento económico) son proveedores adicionales de información directa o de contraste para las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural.

La información obtenida de estos proveedores es recibida a través de bases de datos de acceso público. Las variables contempladas que se consultan son todas aquellas transacciones y flujos de energía registrados en las bases de datos que pueden ser utilizadas en los modelos de demanda de energéticos; cantidades vendidas en volúmenes, producción, desagregaciones temáticas, unidades de medida, ubicación geográfica, valores monetarios, tipos de usuarios, período de la transacción, etc.

Tabla No 2

Proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural

Fuentes de información y variables

Fuente de información	Internas	Externas
Energía eléctrica	Subdirección de Energía Eléctrica: <ul style="list-style-type: none"> ● Conexión GCE ● Planes de expansión eléctrica. ● Generación proveniente de generadores distribuidos reportada por los operadores de red 	Nacionales: DANE: PIB trimestral XM: Demanda de energía - SIN IDEAM: Pronósticos de clima al año 2100 por estación meteorológica DNP: Estimaciones de crecimiento económico Internacionales: UNFPA: Total población a 2050 Banco Mundial: Estimaciones de crecimiento económico.
Gas Natural	Subdirección de Hidrocarburos: Proyección de precios de gas natural Subdirección de Energía eléctrica: Proyecciones del consumo de gas del sector termoeléctrico.	Nacionales: Concentra: Facturación por sectores y municipio SSPD: Consumo y usuarios de los sectores residencial y comercial según facturación obtenido del SUI Gestor del mercado: Gas tomado en puntos del sistema nacional de transporte por sectores con periodicidad diaria.

		Ecopetrol: Consumo de gas en refinerías y campos de petróleo
Combustibles Líquidos	Subdirección de Hidrocarburos: Información de SICOM	Nacionales: Ecopetrol: Expectativas de Consumo anuales por proyectos (Refinerías, campos, etc)
Proyecciones Macroeconómicas		Nacionales: Dane: IPC, PIB, EMM, CNPV 2018, ISE, ETUP. Banrep: Índice de Producción Industrial (IPI). DNP: Indicador de Coyuntura Económica SDE: ANH: Econometría Consultores: Andemos: Fenalco: Cámara Colombiana de Hidrocarburos: Andi: Encuesta de Opinión Empresarial, Encuesta de Expectativas Fedesarrollo: FNC: Raddar: Bolsa Mercantil: Concentra: SSPD: SICOM Internacionales: Wood Mackenzie Platts: Pista: Capital Economics: Statista: Investing: BP: OECD: Cepal: FMI-WEF:

2.2.2. Validación de las fuentes de información

La información fuente que se utiliza en las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural es analizada y evaluada en función de los siguientes criterios; relevancia, coherencia, comparabilidad, interpretabilidad, oportunidad y continuidad, los cuales son atributos de calidad establecidos internacionalmente.

Los mecanismos para la depuración de esta información se basan principalmente en la consistencia económica de las series históricas de variables analizadas provenientes de las bases de datos. Este primer análisis garantiza que no haya inconsistencia en las bases de datos relacionadas con variables como la fecha o período, códigos de productos, unidades de medida, ausencia de información, etc. que se utilizan como insumos para los cálculos de proyección de demanda de energéticos. La validación de las fuentes de información incluye los siguientes procesos:

- i. Análisis gráfico de las series a utilizar: Mediante gráficas de las series se identifican comportamientos atípicos.
- ii. Identificación de datos faltantes y datos atípicos
- iii. Retroalimentación directa con las fuentes, en el caso de ser requerida con el fin de validar la consistencia de la serie. Una vez identificados los valores atípicos, se contacta a la fuente de información para que validen sus bases de datos y vuelvan a enviar la serie corregida.

2.2.3. Método general de cálculo

Una vez se validan las fuentes que se utilizan como insumo para el proceso de cálculo de las proyecciones los temáticos enfrentan dos situaciones adicionales con las bases de datos que son frecuentes en el análisis de información estadística: los datos atípicos, y la ausencia de información.

Para enfrentar la primera, se calculan las desviaciones estándar de la serie y en caso de encontrarse que las series tienen un comportamiento inestable, se calcula el sesgo sistemático (error que afecta la validez del modelo) y se corrige con variables impulso-respuesta para caracterizar eventos que pudieron afectar el comportamiento de la serie (crisis económicas, programas temporales para disminuir el consumo de energía). Este tipo de ajustes no son frecuentes y solo se presentan en la variable consumo de energía.

La segunda situación, ausencia de información, o en algunos casos, información en “ceros” y de la cual se sospecha que es información inconsistente, el procedimiento que se realiza es una imputación de dicha información mediante un modelo de regresión para caracterizar la serie y poder completarla con datos consistentes con el comportamiento de la misma.

Una vez realizado este tratamiento a las bases de datos fuentes, el paso siguiente es volver a aplicar los procesos estadísticos de consistencia de estas bases para verificar que las propiedades deseables se estén cumpliendo.

El siguiente paso es estructurar la información en una única base de datos en formato excel para ser cargada en la herramienta de modelación que usan las proyecciones de demanda de energía eléctrica, gas natural y combustibles líquidos, *e-views* en nuestro caso.

Proyecciones macroeconómicas¹³

Una de las variables explicativas para las proyecciones de demanda de energía eléctrica y potencia, gas natural son las proyecciones macroeconómicas que construye la UPME.

La estimación de estos escenarios macroeconómicos se realiza a través de modelos econométricos, que suponen una relación entre las variables económicas, sociales, y ambientales, con el sector minero energético y con el desempeño económico agregado del país.

El inventario de información necesario para la proyección de escenarios macroeconómicos se organiza en función de la desagregación sectorial del DANE. Por ello, se definen las mismas doce (12) desagregaciones sectoriales del PIB: (1) Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca; (2) Explotación de minas y canteras; (3) Industrias manufactureras; (4) Suministro de electricidad, gas, agua; (5) Construcción; (6) Comercio, Transporte; (7) Información y comunicaciones, (8) Actividades financieras y de seguros; (9) Actividades inmobiliarias, (10) Actividades profesionales, científicas y técnicas; (11) Administración pública y defensa; (12) Actividades artísticas, de entretenimiento, actividades de los hogares. La anterior desagregación permite una comparación con los resultados que publica el DANE.

Las proyecciones de PIB incluyen diferentes escenarios (base, alto, bajo, alterno y promedio) resultantes de un modelo tanto para la oferta y para la demanda para cada uno de los componentes en función de indicadores líderes propios.

A continuación se detalla este procedimiento.

Antecedentes

Desde 2014 la Subdirección de Demanda de la UPME, en respuesta a un requerimiento de la Dirección de la entidad, construye sus propios escenarios macroeconómicos, en respuesta a la necesidad de contar con proyecciones a 15 años, con periodicidad trimestral y anual, para estimar la demanda de los principales energéticos (energía eléctrica – EE, gas natural – GN y combustibles líquidos – CL) el Plan de Generación, Expansión y Transmisión (PEGT) y para el Plan Energético Nacional 2050 (PEN), discriminadas por sectores económicos, en razón a las diferencias en el uso de energía al interior de hogares y firmas.

Adicionalmente, las proyecciones oficiales hechas por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y el Departamento Nacional de Planeación se publican una vez al año cuando se actualiza el Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP), con frecuencia anual y no trimestral¹⁴, sin que estas proyecciones discriminen por

¹³ Tomado de: Metodología Proyecciones macroeconómicas 2050 con impacto COVID – 19. Principales resultados para el sector minero - energético, diciembre 2020 - Subdirección de Demanda, UPME. Romel Rodríguez.

¹⁴ El contar con datos anuales, sin la posibilidad de contar con proyecciones trimestrales o mensuales, limita el alcance de los modelos multiecuacionales de series de tiempo, que exigen muestras amplias, para contar con suficientes grados de libertad

sectores económicos, y a un horizonte de 10 años, inferior al que la Subdirección de Demanda requiere para las proyecciones de demanda de energéticos.

Metodología

La proyección del PIB Colombia 2020 – 2050, considera los siguientes pasos:

- a. Se parte de dos series históricas, trimestral y anual, de cada sector económico, en precios constantes (Miles de Millones de Pesos de 2015 – COP MM 2015), lo que permite estimar el PIB Real y el crecimiento real de la economía.
- b. Se define una metodología de estimación, para construir una serie de proyecciones (no menos de diez, para escoger varios escenarios) en niveles (largo plazo) y en tasas de crecimiento (corto plazo), para cada uno de los doce sectores económicos: Agricultura, Minería, Industria, Construcción, Comercio (Incluye Transporte), Suministro de Electricidad – Gas Natural – Agua y Alcantarillado, Financiero, Inmobiliario, Comunicaciones, Profesionales, Administración Pública, Entretenimiento.
- c. Para las proyecciones de corto plazo, se estiman modelos de vectores autorregresivos – VAR. En el caso de los modelos VAR, se construye cada VAR para cada sector económico, tomando como variables, el crecimiento interanual de cada sector para cada trimestre, y el crecimiento interanual (también para cada trimestre) de uno o dos indicadores líderes asociados al sector. Se asumen que las series de PIB sectorial no son estacionarias que fluctúen alrededor de una media), por lo que deben diferenciarse La frecuencia de los datos observados es trimestral.

El modelo VAR de orden s , para m variables ($i = 1, 2, \dots, m$ variables) se denota por:

$$\Delta X_t = \beta_0 + \sum_{s=1}^n \beta_s \Delta X_{i,t-s} + \mu_t \quad (1)$$

Donde:

- es un vector columna de K filas, donde cada una de las K variables, corresponde a la tasa de crecimiento anual de la variable original: una de las variables es el crecimiento interanual del sector económico que se modela, y las demás variables, la tasa de crecimiento interanual de los indicadores líderes que se consideran son los que mejor pueden explicar el comportamiento de dicho sector económico.
- es la tasa de crecimiento interanual de cada variable, que se estima cada trimestre. De esta forma, vendrá dado por:

(diferencia entre el tamaño de la muestra y el total de variables modeladas, incluidas variables endógenas, variables exógenas, y los rezagos de ambas) como son los casos de los modelos de Vectores Autorregresivos VAR, los VAR Estructurales, y los modelos de corrección de errores VEC.

$$\Delta x_{i,t} = \frac{x_{i,t}}{x_{i,t-s}} - 1 \quad (2)$$

donde es el valor de la variable en niveles en el trimestre t.

- es un vector columna que representa los rezagos de un mismo orden s, correspondientes a las n variables consideradas en el modelo VAR.
- El orden S del VAR viene determinado por la realización de pruebas de significancia (t de student) , y pruebas de raíz unitaria¹⁵, criterios de información (Akaike y Schwartz) y análisis de correlogramas (a través del Test de Portmanteau), los cuales permiten establecer cuáles rezago s, son determinantes en el comportamiento de la variable en t (en su nivel actual)
- es un vector columna de n filas, asociado a cada una de las n variables, que indica el crecimiento del sector económico independientemente, del comportamiento de los demás sectores
- es una matriz de coeficientes, de n filas y n columnas, que mide el efecto directo o parcial de un cambio unitario de la variable al cabo de s períodos (efecto rezagado) sobre .
- es el término de error, que es ruido blanco (media cero, varianza constante) que mide el comportamiento de que no puede ser explicado por el pasado de las variables que conforman el vector columna , en este caso, el comportamiento de cada sector económico , que no puede explicarse por sus indicadores líderes, ni por el comportamiento histórico del sector ()
- A partir de , se construye la función Impulso – Respuesta, la cual nos indica el impacto de un choque externo no previsto de forma endógena en un indicador líder, sobre el comportamiento de cada uno de los doce sectores económicos .

Tomando un caso particular, el PIB Industrial, que se estima, a partir de dos indicadores líderes (m = 3 variables), el índice de producción industrial (IPI), y la demanda de electricidad (EE), la representación del VAR sería:

$$\Delta x_{1,t} = \beta_{10} + \beta_{11} \Delta x_{1,t-1} + \beta_{12} \Delta x_{2,t-1} + \beta_{13} \Delta x_{3,t-1} + \beta_{14} \Delta x_{1,t-2} + \beta_{15} \Delta x_{2,t-2} + \beta_{16} \Delta x_{3,t-3} + \mu_{1,t} \quad (3)$$

$$\Delta x_{2,t} = \beta_{20} + \beta_{21} \Delta x_{1,t-1} + \beta_{22} \Delta x_{2,t-1} + \beta_{23} \Delta x_{3,t-1} + \beta_{24} \Delta x_{1,t-2} + \beta_{25} \Delta x_{2,t-2} + \beta_{26} \Delta x_{3,t-3} + \mu_{2,t} \quad (4)$$

$$\Delta x_{3,t} = \beta_{30} + \beta_{31} \Delta x_{1,t-1} + \beta_{32} \Delta x_{2,t-1} + \beta_{33} \Delta x_{3,t-1} + \beta_{34} \Delta x_{1,t-2} + \beta_{35} \Delta x_{2,t-2} + \beta_{36} \Delta x_{3,t-3} + \mu_{3,t} \quad (5)$$

¹⁵ Las más usadas en este ejercicio son Phillip – Perron, Dickey – Fuller y KPSS.

Donde

$\Delta x_{1,t}$: Crecimiento interanual del PIB Industrial para el trimestre t

$\Delta x_{2,t}$: Crecimiento interanual del IPI para el trimestre t

$\Delta x_{3,t}$: Crecimiento interanual de la demanda de EE para el trimestre t

- d. Para las proyecciones de largo plazo, se estiman modelos VEC. Se asume una relación de largo plazo entre el sector económico a pronosticar, y los indicadores líderes o variables sectoriales y que lo explican:

$$PIB_{i,t} = x_{1,t} = \beta_0 + \beta_1 x_{2,t} + \beta_2 x_{3,t} + \varepsilon_{PIB,t} \quad (6)$$

Donde $\varepsilon_{PIB,t}$ tiene media cero, es decir, aunque $PIB_{i,t}$, $X_{1,t}$ y $X_{2,t}$ no sean estacionarias, su combinación lineal sí lo es.

La representación matricial del VEC es:

$$\Delta X_{i,t} = \beta_0 + \sum_{s=1}^n \Gamma_s \Delta X_{i,t-s} + \Pi_{i,t} Z_{i,t-1} + \varepsilon_{m,t} \quad (7)$$

Γ representa la matriz de coeficientes de los rezagos de las variables en diferencias (es decir, los rezagos de los crecimientos interanuales del sector económico, y los rezagos de los crecimientos o variaciones interanuales de los indicadores líderes). Con Γ se mide la relación de corto plazo entre los indicadores líderes y el sector económico que se modela.

Z_{t-1} es el vector columna que representa las z_t desviaciones del período anterior con respecto a la relación de equilibrio de largo plazo (término de corrección de error) entre las variables $X_{i,t}$ del modelo:

$$Z_{i,t-1} = x_{i,t-1} - x_{i,t-1} * x_{i,t-1} \quad (8)$$

Π es la matriz de coeficientes de las relaciones de cointegración. Con Π se mide la relación de largo plazo entre los indicadores líderes y el sector económico que se modela.

Replicando el mismo ejemplo hecho para el VAR, un modelo de cointegración o corrección de errores VEC con dos rezagos para el PIB industrial, a fin de pronosticar su nivel de largo plazo, se plantea:

$$\Delta x_{1,t} = \beta_{10} + \Gamma_{11} \Delta x_{1,t-1} + \Gamma_{12} \Delta x_{2,t-1} + \Gamma_{13} \Delta x_{3,t-1} + \Gamma_{14} \Delta x_{1,t-2} + \Gamma_{15} \Delta x_{2,t-2} + \Gamma_{16} \Delta x_{3,t-3} + \Pi_1 z_{1,t-1} + \varepsilon_{1,t} \quad (9)$$

$$\Delta x_{2,t} = \beta_{20} + \Gamma_{21} \Delta x_{1,t-1} + \Gamma_{22} \Delta x_{2,t-1} + \Gamma_{23} \Delta x_{3,t-1} + \Gamma_{24} \Delta x_{1,t-2} + \Gamma_{25} \Delta x_{2,t-2} + \Gamma_{26} \Delta x_{3,t-3} + \Pi_2 z_{1,t-1} + \varepsilon_{2,t} \quad (10)$$

$$\Delta x_{3,t} = \beta_{30} + \Gamma_{31} \Delta x_{1,t-1} + \Gamma_{32} \Delta x_{2,t-1} + \Gamma_{33} \Delta x_{3,t-1} + \Gamma_{34} \Delta x_{1,t-2} + \Gamma_{35} \Delta x_{2,t-2} + \Gamma_{36} \Delta x_{3,t-3} + \Pi_3 z_{1,t-1} + \varepsilon_{3,t} \quad (11)$$

Donde

$$z_{1,t-1} = x_{1,t-1} - \beta_1 x_{2,t-1} - \beta_2 x_{3,t-1} \text{ relación (vector) de cointegración de largo plazo.} \quad (12)$$

$\Delta x_{1,t}$: Crecimiento interanual del PIB Industrial para el trimestre t

$\Delta x_{2,t}$: Crecimiento interanual del IPI para el trimestre t

$\Delta x_{3,t}$: Crecimiento interanual de la demanda de EE para el trimestre t

- e. Los modelos ARIMA se emplean para estimar sectores económicos donde no haya un indicador líder con un número suficiente de observaciones. Para ello, se parte de la diferenciación de las series, para hacerlas estacionarias (con media y varianza constante en su término de error) con el objetivo que el pronóstico obtenido tenga convergencia a un valor a largo plazo (Reversión a la media).

Dado que los PIB sectoriales, definidos por $x_{i,t}$, no son series estadísticas estacionarias y tienen raíz unitaria (afectación de los rezagos en el valor contemporáneo de la variable), se procede a diferenciar la serie, y expresarla en tasas de crecimiento:

$$\Delta PIB_{i,t} = \frac{PIB_{i,t} - PIB_{i,t-1}}{PIB_{i,t}} \quad (13)$$

Posteriormente, se procede con la técnica de Box - Jenkins (Correlogramas), y pruebas de raíz unitaria, a calibrar los componentes autorregresivos (Componentes AR) y los componentes de media móvil (Componentes MA), para obtener el mejor ARMA posible, minimizando tanto el error, como los criterios de información de Akaike y Schwartz. El modelo genérico obtenido es:

$$\Delta PIB_{i,t} = \beta_0 + \sum_{j=1}^s \delta_j \Delta PIB_{i,t-j} + \sum_{j=1}^s \gamma_j \varepsilon_{t-j} + \mu_i \quad (14)$$

Empleando el criterio estadístico de la t de Student, se verifica la significancia de los coeficientes δ_j de los componentes AR, y de los coeficientes γ_j de los componentes MA. Se busca, además, corregir el modelo por parsimonia, esto es, procurar la menor cantidad posible de componentes AR, y MA, con los cuáles pueda obtenerse el mejor pronóstico. El error de estimación viene dado por

Posteriormente, una vez corrido el modelo ARIMA, se verifica que haya reversión a la media, es decir, que garantice convergencia en el pronóstico del sector económico, y que el proceso sea invertible (es to es, que las raíces de la ecuación en diferencias asociada al Modelo ARMA, sean menores en valor absoluto a 1).

f. En el caso de las proyecciones obtenidas a partir de modelos VAR y modelos ARIMA, se encadenan los valores de los últimos cuatro trimestres observados (en niveles), con la tasa estimada de crecimiento de los próximos 4 trimestres. De esta manera, y haciendo este cálculo de forma recursiva (para los siguientes trimestres), se obtiene la serie proyectada de cada sector 2020 – 2050.

g. En el caso de las proyecciones obtenidas a partir de modelos VEC, se encadenan los valores de los últimos trimestres observados (en niveles), con el dato estimado para el siguiente trimestre. De esta manera, y haciendo este cálculo de forma recursiva (para los siguientes trimestres), se obtiene la serie proyectada de cada sector 2020 – 2050.

h. Una vez se han construido las series proyectadas para cada sector económico, se escogen los cuatro Escenarios más consistentes: Base (Benchmark), Alto (Optimista), Bajo (Pesimista), Alternativo. La consistencia de cada escenario está determinada por la factibilidad de la estimación obtenida, y el desempeño histórico de la serie

i. Se procede a sumar los PIB de cada uno de los trece sectores ($n=12$), agrupados por escenario, para obtener el PIB Total (PIB Enfoque Oferta), y a partir de éste resultado, el crecimiento económico anual, el crecimiento económico interanual por trimestre, y las participaciones de cada sector en el PIB Total:

$$PIB\ Total_t = \sum_{i=1}^n PIB_{i,t} \quad (15)$$

A continuación se detalla los insumos requeridos para el modelo de estimación de cada uno de los energéticos.

Para proyecciones de Energía Eléctrica:

1. series trimestrales de crecimiento económico del DANE (PIB TOTAL en precios constantes de 2018), desde I-2000 hasta el último trimestre disponible

2. Series de proyecciones trimestrales (PIB TOTAL en precios constantes de 2018) construidos por la UPME en sus cinco escenarios (línea base, alto, bajo, alternativo, y promedio).

3. Series de proyecciones anuales de población disponible de Naciones Unidas para la serie 1991-2100.

5. Series históricas mensuales de temperatura nacional por estación meteorológica disponible de IDEAM para la serie 1970-2100

6. Series históricas trimestralizadas del operador del Sistema (XM) de la demanda de energía eléctrica del SIN hasta el último trimestre disponible .

Para proyecciones de Gas Natural:

1. series trimestrales de crecimiento económico del DANE (PIB TOTAL y por sector en precios constantes de 2015), desde I-2000 hasta el último trimestre disponible
2. Series de proyecciones trimestrales (PIB TOTAL y por sector en precios constantes de 2015) construidos por la UPME en sus cinco escenarios (línea base, alto, bajo, alterno, y promedio).
3. Series históricas trimestralizadas de consumo de gas disponible de CONCENTRA por sector y municipio, cuyo origen es la facturación.
4. Series históricas trimestralizadas de consumo de gas tomado de puntos de salida del sistema nacional de transporte y por sector disponible en GESTOR DE MERCADO.
5. Series históricas trimestralizadas de consumo, facturación y usuarios de gas residencial y comercial disponible de Super Intendencia de Servicios Públicos - SUI.
6. series históricas mensuales de expectativas de consumo de gas de sus proyectos (refinerías, campos, etc) disponible de ECOPETROL
7. series históricas y proyecciones mensuales de consumo de gas en termoeléctricas disponible de la Subdirección de Energía Eléctrica.

Una vez las variables son cargadas en *e-views* se definen las especificaciones del modelo y se realizan sus estimaciones. El modelo tiene las siguientes características:

Para proyecciones de energía eléctrica¹⁶:

Partiendo de las series históricas y las series proyectadas anteriormente mencionadas, se construye un modelo de combinación de pronósticos empleando modelos multivariados VAR (modelo de vectores autorregresivos) y VEC (modelo de vectores de corrección de error), los cuales proponen un sistema de ecuaciones, con tantas ecuaciones como series a analizar o predecir. Así, cada variable es explicada por los retardos de sí misma y por los retardos de las demás variables. A partir de estas consideraciones se estimaron los modelos VAR con las diferencias logarítmicas estacionarias de cada una de las variables y el modelo VEC con los logaritmos de las variables. Un modelo VAR es un modelo de ecuaciones simultáneas formado por un sistema de ecuaciones de forma reducida sin restringir. Que sean ecuaciones de forma reducida quiere decir que los valores contemporáneos de las variables del modelo no aparecen como variables explicativas en las distintas ecuaciones. El conjunto de variables explicativas de cada ecuación está

¹⁶ Tomado de Nota Técnica # 005 Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia, Revisión de la Metodología (diciembre 2014, UPME)

constituido por un bloque de retardos de cada una de las variables del modelo. Que sean ecuaciones no restringidas significa que aparece en cada una de ellas el mismo grupo de variables explicativas.

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{s=1}^k \beta_s Y_{t-s} + u_t \quad (1)$$

Donde Y_t es un vector columna $n \times 1$; K es el orden del modelo VAR, o número de retardos de cada variable en cada ecuación, y u_t es un vector $n \times 1$ de innovaciones, es decir, procesos sin autocorrelación, con $\text{Var}(u_t) = \Sigma$, constante.

En un modelo VAR todas las variables son tratadas simétricamente, siendo explicadas por el pasado de todas ellas. El modelo tiene tantas ecuaciones como variables, y los valores retardados de todas las ecuaciones aparecen como variables explicativas en todas las ecuaciones. Por su parte, un modelo de Vector de Corrección del Error (VEC) es un modelo VAR restringido (habitualmente con sólo dos variables) que tiene restricciones de cointegración incluidas en su especificación, por lo que se diseña para ser utilizado con series que no son estacionarias pero de las que se sabe que son cointegradas.

Si las variables X_t e Y_t tiene el mismo orden de integración (de orden 1, habitualmente) y están cointegradas mediante la relación:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + u_t \quad (2)$$

Entonces el modelo de corrección del error VEC es:

$$\begin{aligned} \Delta Y_t &= \alpha + \delta \Delta X_t + \gamma (Y_{t-1} \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_{t-1}) + \varepsilon_t \\ &= \alpha + \delta \Delta X_t + \gamma \hat{\mu}_t \\ &+ \varepsilon_t \end{aligned} \quad (3)$$

De este modo, las variaciones ΔY_t dependen de las variaciones experimentales en X_t a través de $\delta \Delta X$ y del equilibrio que se produjo en el periodo anterior

$$Y_{t-1} - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_{t-1} \quad (4)$$

a través del término de Corrección del Error (CE)

$$CE = \gamma(Y_{t-1} - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_{t-1}) \quad (5)$$

Resumiendo podemos decir que si existe cointegración entre las variables de un modelo, este puede analizarse mediante un modelo de corrección del error (VEC) que representa correctamente el comportamiento dinámico de las series del modelo. Como una función lineal de los cambios en las variables explicativas y del término de corrección de error (CE).

Ecuaciones de Modelos Multivariados para la Proyección de la Demanda de Energía Eléctrica

Modelo VAR Endógeno

Partiendo de la ecuación (1), tenemos que:

$$\Delta \ln DEE_t = \sum_{\alpha=1}^k \beta_{\alpha 1} \Delta \ln DEE_{t-\alpha} + \sum_{b=1}^k \beta_{b1} \Delta \ln PIB_{t-b} + \sum_{c=1}^k \beta_{c1} \Delta \ln POB_{t-c} + \sum_{d=1}^k \beta_{d1} \Delta \ln TEMP_{t-d} + \beta_{01} \quad (6)$$

Realizando el criterio de selección de longitud de rezagos, los estadísticos Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn, indican el número de rezagos a emplear en el modelo, dando como resultado con $k = 4$ rezagos. Las variables explicativas de cada ecuación son: cuatro constantes, más cuatro retardos de cada una de las variables del modelo, con 68 coeficientes en total. Las variables endógenas para este modelo son: PIB total, población y la temperatura.

Modelo VAR Exógeno

Partiendo de la ecuación (1), tenemos que:

$$\Delta \ln DEE_t = \sum_{s=1}^k \beta_s \Delta \ln DEE_{t-s} + \beta_{PIBTotal} \Delta \ln PIBTotal_t + \beta_{POB} \Delta \ln POB_t + \beta_0 \quad (10)$$

Realizando el criterio de selección de longitud de rezagos, los estadísticos Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn, indican el número de rezagos a emplear en el modelo, dando como resultado con $k = 4$ rezagos. Las variables exógenas para este modelo son: PIB total, población y la temperatura.

Modelo VEC

Partiendo de la ecuación (3), tenemos que:

$$\Delta \ln DEE_t = \sum_{\alpha=1}^k \delta_{\alpha 1} \Delta \ln DEE_{t-\alpha} + \sum_{b=1}^k \delta_{b1} \Delta \ln PIBTotal_{t-b} + \delta_{01} + \delta_{POB1} \ln POB_t + \delta_{TEMP1} \ln TEMP_t + \delta_{Dummy1} \ln D_t + \gamma_1 (\ln DEE_{t-1} + \beta_1 \ln PIBTotal_{t-1} + \beta_2 \Delta Trend(91T1)) \quad (11)$$

Se realizó la prueba de Phillips - Perron (PP) a cada una de las variables, de las cuales algunas de ellas presentaban estacionariedad, a lo cual se procedió a realizarle el tratamiento de sacarle el logaritmo natural a las variables para quitarle la estacionariedad. De esta manera se cumplía la regla para el modelo VEC, donde la serie de datos fuera no estacionaria.

Realizando el criterio de selección de longitud de rezagos, los estadísticos Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn, indican el número de rezagos a emplear en el modelo, dando como resultado con $k = 4$ rezagos. Las variables endógenas para este modelo son: PIB total y como variables exógenas: la población, la temperatura y una dummy entre los periodos de septiembre de 2010 a marzo de 2011 (donde el crecimiento del PIB es inverso al de la demanda de energía y la temperatura, en éste periodo se presentó el fenómeno de “La Niña”).

Análisis Comparativo de Proyecciones - Errores y Sesgo Sistemático

Se realiza un análisis de sesgo sistemático empleando la metodología utilizada en (Considine, Timothy J. & Clemente, Frank A. 2007), en donde se permite medir la precisión de la proyecciones realizadas por los modelos mencionados anteriormente, la cual analiza el Error Promedio Porcentual (APE), el Error Promedio Absoluto (AAE), el Error Cuadrático Medio (MSE), el Sesgo (B), el Modelo (M) y los Aleatorios (R). Éstos estadísticos permiten medir la precisión de la proyección. El error cuadrático medio da la medida de las diferencias en promedio entre los valores pronosticados y los observados. De este, se divide en tres

medidas que cuantifican la sobrestimación o la subestimación del modelo, como son: el error por sesgo, del modelo y por aleatoriedad. La suma de estas medidas debe ser del 100%, lo idóneo es que el modelo sea explicado en su gran totalidad por la aleatoriedad.

Para el cálculo de este análisis, se emplearon las proyecciones realizadas por los modelos anteriormente descritos, en el periodo comprendido desde 2008 a 2013, con una frecuencia trimestral. La verificación de cada uno de los valores proyectados por cada uno de los modelos, se realizó empleando la metodología celda a celda, la cual consiste en comparar el resultado del pronóstico con el análisis para el mismo año. La ventaja que conlleva este método es la sencillez en la computación, ya que, todos los puntos de los valores observados y pronosticados coinciden espacialmente. Sin embargo, algunos autores (Stenger, R. A. (2000), White C., Smart R. P., Stutter M., Cresser M. S., Billet M. F., Elias E. A., Soulsby C., Langan S., Edwards A. C., Wade A., Ferrier R., Neal C., Jarvie H. and Owen R. 1999) han constatado la tendencia de esta metodología en producir un sesgo a favor de los resultados de los dominios con resoluciones menores (J. Casellas, Oriol 2005).

A. Error Promedio Porcentual:

$$APE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n 100 * \frac{(p_t - A_t)}{A_t} \quad (14)$$

B. Error Promedio Absoluto

$$AAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |A_t - P_t| \quad (15)$$

C. Error Cuadrático Medio

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(P_t - A_t)}{(A_{t-1})} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (p_t - a_t)^2 \quad (16)$$

donde,

$$p_t = (P_t - A_{t-1}) / A_{t-1} \quad (17)$$

$$a_t = (A_t - A_{t-1}) / A_{t-1} \quad (18)$$

Siendo P el valor proyectado y A el valor real histórico. Del Error Cuadrático Medio se desprenden los errores que determinan cuán confiable es el modelo.

$$B = \text{Sesgo} = \frac{(\bar{p} - \bar{a})^2}{MSE} \quad (19)$$

$$M = \text{Modelo} = \frac{(s_p - rS_a)^2}{MSE} \quad (20)$$

$$R = \text{Aleatorio} = \frac{(1 - r^2)S_a^2}{MSE} \quad (21)$$

Donde S_p es la desviación estándar de la población de p , r son los coeficientes de correlación entre P y A, y S_a es la desviación estándar de a .

Se selecciona aquel modelo que su MSE, sea el menor y que además sus errores sean atribuidos especialmente a aleatoriedad, y con porcentajes mínimos al sesgo y al modelo.

Resultados:

Para la estimación eficiente de las ponderaciones de cada modelo, se emplea el menor valor de MSE utilizando como restricciones el máximo valor de los errores aleatorios y los mínimos valores de los errores por sesgo y de modelo; además como criterio de selección, se otorga la mayor ponderación a aquel modelo que minimiza los criterios de Akaike y Schwarz y maximiza el estadístico del Logaritmo de Máxima Verosimilitud.

3.1. Criterios de Selección de los Modelos

Para la selección de un modelo entre las especificaciones alternativas se analizaron los diferentes criterios utilizados en este tipo de investigaciones (Greene. W. H. 1999):

I. Logaritmo de la función de máxima verosimilitud (Log likelihood), prefiriendo aquel modelo con un valor superior.

II. Criterio de información de Akaike (AIC), siendo preferible aquel modelo que presente un valor AIC menor.

III. Estadístico de Schwarz (SC), que tiene en cuenta explícitamente el tamaño de la muestra, siendo preferible aquel modelo que presente un valor del estadístico SC menor.

IV. R² ajustado, prefiriendo aquel modelo con un valor superior.

V. Estadístico de Hannan-Quinn (HQ), que también tiene en cuenta el tamaño de la muestra y que refiere aquel modelo que presente un valor del estadístico HQ menor.

Tabla 1. Estadísticos – Modelo VAR Endógeno

R-squared	0.758118	0.288042	0.987211	0.433612
Adj. R-squared	0.693616	0.098186	0.983801	0.282575
Sum sq. resids	0.008862	0.007241	1.27E-07	0.013991
S.E. equation	0.012153	0.010986	4.60E-05	0.015270
F-statistic	11.75343	1.517162	289.4782	2.870905
Log likelihood	239.9288	247.7057	669.3905	222.3480
Akaike AIC	-5.790357	-5.992355	-16.94521	-5.333713
Schwarz SC	-5.272894	-5.474891	-16.42774	-4.816250
Mean dependent	0.005417	0.008386	0.003227	0.000321
S.D. dependent	0.021956	0.011568	0.000361	0.018029
Determinant resid covariance (dof adj.)		5.74E-21		
Determinant resid covariance		2.12E-21		
Log likelihood		1395.736		
Akaike information criterion		-34.48665		
Schwarz criterion		-32.41680		

Fuente: UPME, 2014.

Tabla 2. Estadísticos – Modelo VAR Exógeno

R-squared	0.679183
Adj. R-squared	0.648420
Sum sq. resids	0.012375
S.E. equation	0.013020
F-statistic	22.07774
Log likelihood	240.9189
Akaike AIC	-5.751085
Schwarz SC	-5.514596
Mean dependent	0.006180
S.D. dependent	0.021959

Fuente: UPME, 2014.

Tabla 3. Estadísticos – Modelo VEC

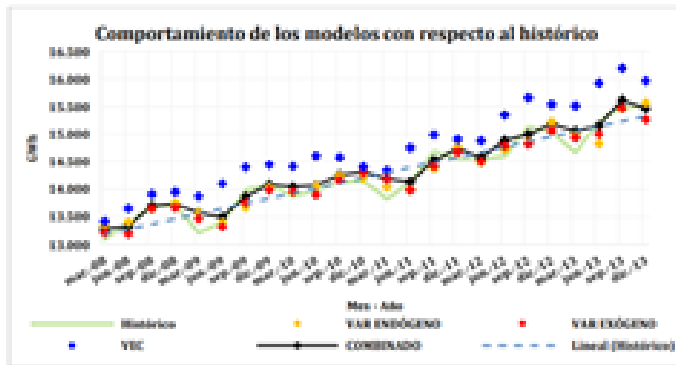
R-squared	0.759639	0.245611	0.990321
Adj. R-squared	0.700534	0.060105	0.987941
Sum sq. resids	0.008806	0.007673	9.60E-08
S.E. equation	0.012015	0.011215	3.97E-05
F-statistic	12.85234	1.324008	416.0834
Log likelihood	240.1716	245.4769	680.1163
Akaike AIC	-5.822639	-5.950440	-17.24977
Schwarz SC	-5.335615	-5.473416	-16.76275
Mean dependent	0.005417	0.008386	0.003227
S.D. dependent	0.021956	0.011568	0.000361
Determinant resid covariance (def adj.)		2.00E-17	
Determinant resid covariance		9.95E-18	
Log likelihood		1179.463	
Akaike information criterion		-29.28476	
Schwarz criterion		-27.70193	

Fuente: UPME, 2014.

Donde se concluye, que entre una familia de modelos el que cumple con la mayoría de criterios es el modelo VAR Exógeno, debido a que presenta el mayor valor del logaritmo de la función máxima verosimilitud, y el menor valor del estadístico de Schwarz.

Por otro lado, el criterio de selección para el R^2 deberá ser mayor al 65%, de lo anterior con un 67,92% de la variabilidad de la demanda de energía eléctrica es explicada por el modelo VAR Exógeno. Donde se concluye que el modelo es adecuado para describir la relación que existe entre el PIB Total, la población y la temperatura.

Gráfica 2. Comportamiento de los modelos con respecto al histórico



Fuente: UPME, Base de Datos XM, DANE, IDEAM, 2014.

Tabla 4. Errores de los modelos

	VAR Endógeno	VAR Exógeno	VEC	Modelo Combinado
APE	0,16%	-0,10%	3,40%	0,65%
AAE	155,97	151,44	485,42	139,43
MSE	0,019%	0,017%	0,135%	0,016%

Fuente: UPME, 2014

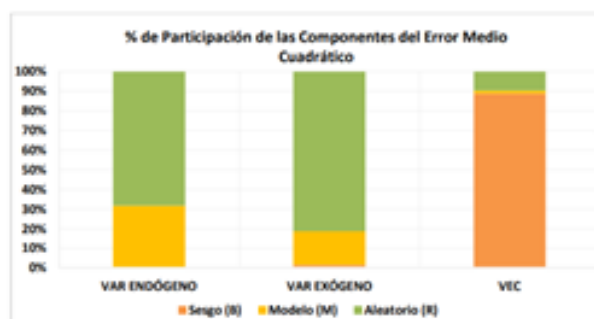
Tabla 5. Errores que cuantifican la calidad del modelo

MSE	VAR Endógeno	VAR Exógeno	VEC	Modelo Combinado
Sesgo (B)	0,21%	1,62%	88,80%	23,51%
Modelo (M)	31,56%	17,03%	1,50%	26,45%
Aleatorio (R)	68,23%	81,36%	9,71%	50,04%

Fuente: UPME, 2014

Como se puede observar en la Tabla 4 y en la Tabla 5, los valores menores para cada uno de los tipos de error se presentan en el modelo VAR Exógeno; además en las componentes del MSE el valor máximo de aleatoriedad se presenta en dicho modelo. Realizando la combinación de modelos, se observa que el equilibrio se encuentra entre los tres modelos; al disminuir aún más el MSE se podría estar reduciendo la confiabilidad del modelo combinado, debido a que cualquier variación de alguna de las variables colocaría al modelo con una alta sensibilidad, dando como resultado valores atípicos o lejanos del valor real. Esto se traduce, al minimizar el MSE disminuye la confiabilidad del modelo, ya que toda la sensibilidad se trasladaría al aumento del porcentaje de participación de las componentes de sesgo y modelo y se reduciría el porcentaje de aleatoriedad.

Gráfica 3. Porcentaje de participación de las componentes del error cuadrático medio



Fuente: UPME, Base de Datos XM, DANE, IDEAM, 2014.

Con lo anterior, se desarrolló un modelo que estadísticamente es robusto, permitiendo combinar de manera óptima los resultados de las proyecciones generados por distintos modelos. Conjuntamente, se utiliza el análisis comparativo de las proyecciones de cada uno de los modelos para evaluar los Errores y el Sesgo Sistemático. Los componentes del error MSE permiten analizar aquellas condiciones donde los valores de las proyecciones del modelo sobreestiman o subestiman las condiciones de la demanda de energía eléctrica. Una de las técnicas, como el método de evaluación de pronósticos empleado por la EIA es un muy buen referente para analizar el desempeño de los modelos. Los métodos empleados para la proyección de la demanda de energía eléctrica dependen de los datos, tales como la misma demanda, el PIB, la población y la

temperatura. Este modelo proporciona un insumo de planeación energética novedoso y cambia los paradigmas tradicionales de proyección en Colombia.

Para proyecciones de Gas Natural¹⁷:

Las estimaciones de proyección de demanda de gas natural tienen de referencia el mismo marco teórico de las proyecciones de energía eléctrica y potencia. Así, de los siete sectores para los que se realiza la proyección de demanda, cuatro de ellos utilizan modelos VAR o VEC, mientras que para los restantes tres sectores se utilizan otras metodologías.

La siguiente tabla identifica el modelo o herramienta utilizada para el caso de los sectores de gas que se estima.

Metodología utilizada para la proyección de demanda de gas natural

Tabla 6

SECTOR	MODELO
Residencial	VAR
Comercial	VAR
Industrial	VEC
Petroquímico	VEC
Transporte	Técnico
Refinerías y proyectos energéticos ECP	Estimaciones de consumo de Ecopetrol en refinerías y campos de producción
Termoeléctricas	SDDP (Stochastic Dynamic Dual Programming)

Para sectores de consumo final se han escogido modelos de Vectores de Autorregresión, VAR, y Vectores de Corrección del Error, VEC, y sus combinaciones, para aprovechar tanto su potencia de análisis, como las

¹⁷ Tomado de Técnica # 004 proyecciones de Demanda de Gas Natural en Colombia. Una revisión necesaria de metodología y paradigmas y análisis (julio 2014, UPME)

series históricas más extensas disponibles hoy. Lo anterior, sin perjuicio de continuar evaluando las demandas sectoriales con los modelos técnico-económicos.

Sector residencial, comercial

Para estos tres sectores se utilizaron modelos VAR. Debido a que algunas de las series que se utilizaron en los modelos son no estacionarias, se trabajó con la primera diferencia del logaritmo natural de cada una de ellas.

Para la proyección de demanda residencial se utilizó un modelo VAR endógeno en el que se evaluó la relación entre la demanda de GN nacional con la cobertura y facturación del servicio..

Con las variables seleccionadas, se realiza la prueba de longitud de rezago para establecer.

$$\Delta \ln DGNResidencial_t = \sum_{n=1}^k \alpha_n \Delta \ln DGNResidencial_{t-n} + \sum_{n=1}^k \beta_n \Delta Cobertura_{t-n} + \sum_{n=1}^k \gamma_n \Delta \ln Facturacion_{t-n} + \delta_{01}$$

Para el sector comercial la proyección se deriva del modelo del sector residencial y del modelo del sector doméstico, que es la suma del residencial y el comercial, esto porque la expansión de las redes de gas natural responde principalmente al crecimiento del sector residencial. La proyección se realizó mediante un modelo VAR, en el que se relacionó la demanda de GN con variables como la cobertura del sector residencial y la facturación del doméstico.

$$\Delta \ln DGNDoméstico_t = \sum_{n=1}^k \alpha_n \Delta \ln DGNDoméstico_{t-n} + \sum_{n=1}^k \beta_n \Delta CoberturaResidencial_{t-n} + \sum_{n=1}^k \gamma_n \Delta \ln FacturacionDoméstico_{t-n}$$

A los resultados del sector doméstico se le restan los resultados del modelo del sector residencial para obtener el consumo del sector comercial.

Sector industrial y petroquímico

Para las proyecciones de demanda de GN del sector industrial se utilizó un modelo de Vectores de Corrección del Error (VEC) en el que se evaluaron las relaciones entre la demanda de GN con diferentes variables como el índice de precios del gas natural y el valor agregado de la industria manufacturera.

La selección de las variables utilizadas en el modelo, se realizó no sólo según su significancia estadística, sino también que la relación con la variable demanda de gas natural presentada en la ecuación de

cointegración sea la esperada. Por ejemplo, si aumenta el precio del gas natural, se espera que la demanda del mismo disminuya.

$$\Delta DGN_{Industrial}_t = \sum_{n=1}^k \alpha_n \Delta DGN_{Industrial}_{t-n} + \sum_{n=1}^k \beta_n \Delta IPGN_{t-n} + \sum_{n=1}^k \gamma_n \Delta VAManufactura_{t-n} + \gamma_1 (DGN_{Industrial}_{t-1} - \alpha_0 - \alpha_1 IPGN_{t-1} - \alpha_2 VAManufactura_{t-1}) + v_t$$

Para el sector petroquímico se utiliza un modelo VEC en el que se relaciona el consumo de gas natural con variables como el índice de precios del gas natural y el índice de producción real del subsector de químicas básicas.

$$\Delta DGNPQ_t = \sum_{n=1}^k \alpha_n \Delta DGNPQ_{t-n} + \sum_{n=1}^k \beta_n \Delta IPGN_{t-n} + \sum_{n=1}^k \gamma_n \Delta IPIQUI_{t-n} + \gamma_1 (DGNPQ_{t-1} - \alpha_0 - \alpha_1 IPGN_{t-1} - \alpha_2 IPIQUI_{t-1}) + v_t$$

Sector transporte

Para la proyección de demanda de GN del sector transporte se tomaron como punto de partida dos conceptos utilizados para el cálculo de cualquier energético utilizado para este sector:

- * El número de vehículos a nivel nacional.
- * El número de viajes y distancias recorridas por vehículo.

Para proyectar la cantidad de vehículos que se van a tener en el país, se utiliza de nuevo la función logística, pero esta vez la variable dependiente será el número de vehículos en un instante del tiempo.

Para calcular el número de viajes y las distancias recorridas se tomaron como referencia estudios realizados al respecto en las áreas metropolitanas de Bogotá, Medellín y Barranquilla. Posteriormente, se restan los datos de los vehículos en las áreas metropolitanas principales del total nacional, para no incurrir en doble contabilidad, y de acuerdo a un número promedio de kilómetros recorridos por un vehículo en Colombia, se calcula la cantidad de GN necesaria.

Sector Termoeléctrico

El comportamiento de la demanda del sector termoeléctrico está ligado a condiciones propias de la operación del Sistema Interconectado Nacional, SIN, así como a otras variables exógenas como los aportes hidrológicos y el volumen útil de los embalses o fallas en el Sistema de Transmisión Nacional. La demanda

de GN para la generación de energía eléctrica se establece teniendo en cuenta dos criterios: generación por despacho ideal y generaciones de seguridad.

Para el consumo de generación por despacho ideal se utiliza el software SDDP, el cual simula el funcionamiento del despacho de un sistema de generación eléctrica, en el que se tienen en cuenta no solamente la demanda de energía eléctrica, sino también el nivel del embalse, los aportes hidrológicos en diferentes instantes del tiempo y los precios de los diferentes energéticos utilizados para la generación de energía eléctrica. De acuerdo al comportamiento de las anteriores variables, se establecen los costos marginales de las plantas de generación del sistema, con las que se va a suplir la demanda y también la cantidad de energético necesaria para tal fin.

Para el consumo de generación de seguridad, se tienen en cuenta las restricciones de funcionamiento del sistema, así como las condiciones necesarias para mantener la estabilidad del sistema.

Luego de establecer las necesidades de GN para cada uno de los criterios anteriores, se establece la cantidad de GN necesaria en cada momento del tiempo mediante la función *máx(generación ideal, generación de seguridad)*. Además, se adiciona la cantidad de GN necesaria para arranque y parada.

Caso especial - ECOPETROL

Los datos de demanda de GN del sector petrolero corresponden a los consumos de las refinerías de ECOPETROL ubicadas en Cartagena y Barrancabermeja y otros consumos de la misma compañía. Los datos de proyección fueron suministrados por ECOPETROL, de acuerdo con las expectativas de funcionamiento de las refinerías y otros proyectos de la compañía.

2.2.4. Revisión y análisis de los resultados generados:

Una vez se obtienen los resultados del modelo, el proceso de análisis y revisión se resume en los siguientes pasos:

1. Analizar los resultados de la ejecución del modelo.
2. Comparar los estadísticos y las series proyectadas.
3. Elegir la proyección que esté acorde con los valores históricos de consumo y con los datos de las variables analizadas.
4. Análisis y consistencia económica de los resultados obtenidos

2.3. HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS INFORMÁTICAS UTILIZADAS

El cálculo de las proyecciones de demanda de energéticos utiliza diferentes herramientas de trabajo; herramientas de Microsoft (hojas de cálculo de Excel y procesador de texto word), y formatos de almacenamientos para documentos digitales (archivos pdf). El cargue de información recibida de las fuentes internas y externas se realizan en Excel, y el procesamiento de esta información se realiza en el programa estadístico eviews.

El diseño y estructura de las herramientas tecnológicas utilizadas y las características de la base de datos generada de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural tiene las siguientes características:

1. Modelo entidad/relación

La finalidad de esta etapa del proceso estadístico es la representación de la información contenida en la base de datos para poder ser entendida por un usuario final. En este sentido, el modelo utiliza protocolos y estándares que permitan su entendimiento para usuarios informáticos como para los usuarios que son expertos en la temática económica o social del problema que se está investigando.

El modelo entidad/relación, o del diseño conceptual de bases de datos se basa en la existencia de objetos a los que se les da el nombre de entidades, y sus asociaciones se les da el nombre de relaciones.

2. Diccionario de datos

n.d. (en proceso de actualización)

2.4. DISEÑO DE MÉTODOS Y MECANISMOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

La autoevaluación del proceso de proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural, es monitoreada a través de la evaluación del proceso mediante el cual se identifica el nivel de cumplimiento de los atributos de calidad establecidos internacionalmente para la producción estadística. Para ello internacionalmente son doce (12) los atributos que generan calidad a los ejercicios estadísticos, y en función de las características de estos se definen los atributos con los que se quiere controlar la calidad. Para el caso de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural se han definido los siguientes atributos¹⁸:

¹⁸ Tomado de: Metodología para el aseguramiento de la calidad de la información estadística. Versión 2 - DANE 2011.

- a. Cobertura: Cantidad de información obtenida de cada fuente y el número de fuentes que reportaron información
- b. Consistencia: Que la información esté definida dentro de un rango estimado predeterminado para la variable en función de sus características.
- c. Oportunidad: Hace referencia a la disponibilidad de la información en la fecha que es requerida.
- d. Exactitud: Equivale al grado de corrección con el que la información estadística describe los fenómenos a medir.
- e. Comparabilidad: Cuando la información posee características comunes a través de diferentes períodos lo cual permite deducir relaciones.
- f. Coherencia: Hace referencia a que no exista contradicción entre los conceptos utilizados, las metodologías adoptadas, y las series producidas por la operación.

2.5. DISEÑO DEL ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.5.1. Análisis estadístico

Se asume que las series usadas en las proyecciones de demanda de energéticos no son estacionarias por lo que deben diferenciarse. Cuando se utilizan modelos VAR, el orden S viene determinado por la realización de pruebas de significancia y pruebas de raíz unitaria, criterios de información y análisis de correlogramas, los cuales permiten establecer cuáles rezagos, son determinantes en el comportamiento de la variable en t . Ver más detalle en la sección 2.2.3.

2.5.2. Análisis de contexto

Aquí se construye el informe de coyuntura sobre el contexto económico que acompaña los resultados estadísticos o anexos de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural. Es decir, los resultados de la investigación sobre el fenómeno económico que apoya las hipótesis y resultados hallados con el ejercicio estadístico.

2.5.3. Comités de expertos

Con este ítem se pretende socializar los resultados del ejercicio de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural con el fin de ser debatidos con otros niveles de usuarios o público

especializado. Este primer nivel de socialización se hace al interior del equipo (Subdirección de Demanda), luego en un siguiente nivel se hace en un Comité Técnico en el que participa la Dirección General, última instancia que aprueba técnicamente la difusión de los resultados.

2.6. DISEÑO DE LA DIFUSIÓN

La publicación de los resultados de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural está dispuesta en la página de la UPME (www.upme.gov.co), en la subsección de: <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Demanda-y-Eficiencia-Energetica.aspx>

2.6.1. Administración del repositorio de datos

Los resultados de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural son guardadas en un repositorio (base de datos) que es administrada por la OGI (Oficina de Gestión de Información), quien tiene la responsabilidad de realizar las copias de seguridad y demás protocolos de seguridad de la información. El acceso a esta información tiene los roles diferenciados que controlan el acceso, confidencialidad, y buenas prácticas de manejo de la información.

Rol de administrador: Oficina de Gestión de Información - OGI

Temático: Temático sectorialista

Usuario general: visitante

2.6.2. Productos e instrumentos de difusión

Con el objetivo de cumplir con prácticas internacionales de gestión de información a continuación se presenta el cronograma de publicaciones de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural.

Cronograma de publicación

Proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural	Período
Único informe	Julio (año t)

Fuente: UPME-Subdirección de Demanda

La publicación de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y gas natural contiene los siguiente documentos:

- Informe técnico (formato pdf)
- Presentación (formato ppt)
- Anexos estadísticos (formato xls)

2.7. PROCESO DE EVALUACIÓN

n.d. (en proceso de actualización)

GLOSARIO

BECO: Balance Energético Colombiano

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

DANE: Departamento Nacional de Estadísticas.

Econometría: Aplicación de métodos estadísticos al estudio de la economía.

EViews: Paquete estadístico utilizado para la construcción de modelos econométricos para la proyección de la demanda de energía.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

PIB: Producto Interno Bruto.

SUI: Sistema Único de Información

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CASTAÑO V., ELKIN. (1994). "Combinación de pronósticos y variables predictoras con error". Revista Lecturas de Economía No. 41. Departamento de Economía, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ISSN 0120-2596, ISSNe 2323- 0622. Páginas: 59 – 80. (Consulta, Junio de 2014).
- [2] CONSIDINE, TIMOTHY J. & CLEMENTE, FRANK A. (2007). "Gas-Market Forecast: Betting on Bad Numbers". Páginas: 53 a 59. En línea: http://peakwatch.typepad.com/Gas_Market_Forecasts.pdf (Consulta, Marzo de 2014).
- [3] DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). "PIB". Bogotá, D.C., Colombia. En línea: <https://www.dane.gov.co/index.php/pib> (Consulta, Junio de 2014).
- [4] ----- . Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). "Población". Bogotá, D.C., Colombia, 2014. En línea: <https://www.dane.gov.co/index.php/poblacion> (Consulta, Junio de 2014).
- [5] GREENE. W. H. (1999). "Análisis Económico". Tercera Edición, Editorial Prentice Hall, Madrid. España. Páginas: 1- 34. (Consulta, Marzo de 2014).
- [6] GUJARATI, DAMODAR N. (2004). "Econometría". Cuarta Edición, Parte II y Parte I,. Capítulos 13.1 a 13.9, y 18.1 a 18.4. Editorial Mc Gr aw Hill. México. Páginas: 507 – 539 y 717 – 728. (Consulta, Junio de 2014).
- [7] IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2013). "Bases de Datos de Temperaturas". Bogotá, D.C., Colombia. (Consulta: Abril – Mayo de 2013).
- [8] JORBA CASELLAS, ORIOL. (2005). "Simulación de los campos de viento de la Península Ibérica y el área geográfica de Catalunya con alta resolución espacial para distintas situaciones meteorológicas típicas". Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Projectes d'Enginyeria, Tesis Doctoral, Barcelona. (Consulta, Marzo de 2014).

- [9] MHCP. Ministerio de Hacienda y Credito Público. (2014). "Presupuesto general de la nación 2014". Bogotá, D.C., Colombia. Página: 10. En línea: <http://www.minhacienda.gov.co/port al/page/portal/HomeMinhacienda/presupuestogeneralde la naci on/ProyectoP GN/2014/PRESUPUESTO%20GRAL%20 2014.pdf> (Consulta, Junio de 2014).
- [10] NOVALES, ALFONSO. (2013). "Modelos vectoriales autoregresivos (VAR)". Universidad de Complutence, Madrid, España. Páginas: 1- 34. (Consulta, Marzo de 2014).
- [11] PÉREZ LÓPEZ, C. (2006). "Econometría. Conceptos y Problemas resueltos de Econometría". Capitulo 4. Madrid, España. ISBN:84-9732-376-9. (Consulta, Marzo de 2014).
- [12] STENGER, R. A. (2000). "Sensitivity studies on a limited area mesoscale model: an examination of lateral boundary placement, grid resolution and nesting type". Thesis for the degree of Master of Science in Meteorology. Air Force Institute Tecnology. Ohio, United States. En línea: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2 /a384346.pdf> (Consulta, Marzo de 2014).
- [13] WHITE C., SMART R. P., STUTTER M., CRESSER M. S., BILLET M. F., ELIAS E. A., SOULSBY C., LANGAN S., EDWARDS A. C., WADE A., FERRIER R., NEAL C., JARVIE H. AND OWEN R. (1999). "A novel index of susceptibility of rivers and their catchments to acidification in regions subject to a maritime influence". Applied Geochemistry. Volume 14, Issue 8. Noviembre. Páginas:1093 a 1099. (Consulta, Junio de 2014).
- [14] XM. Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP. (2014). Portal BI. Información Inteligente. "Demanda". Medellín, Colombia. En línea: <http://informacioninteligente10.xm.co>
- [15] https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CMS-18s_web.pdf
- [16] Metodología para el aseguramiento de la calidad de la información estadística. Versión 2 - DANE 2011.
- [17] Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018). Cuentas Nacionales de Colombia Base 2015. Bogotá: DANE – Gobierno de Colombia.
- [18] Enders, Walter (2001) RATS Handbook for Econometric Time Series. New York: John Wiley.
- [19] Lütkepohl, Helmut (2007). Applied Time Series Econometrics (Themes in Modern Econometrics) Cambridge: Cambridge University Press.
- [20] Montenegro, Alvaro (2007) Series de Tiempo. Bogotá: Universidad Javeriana.

ANEXOS