

**ESCENARIOS ENERGÉTICOS A 2050 PARA LAS SMART GRIDS EN COLOMBIA
BASADOS EN LOS ESTUDIOS WEC ENERGY SCENARIOS 2050, ENERGY
TRILEMMA 2013 Y ISSUES MAP MONITOR 2013**

DANIEL FELIPE DÍAZ TORO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

MEDELLÍN

2014

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

**ESCENARIOS ENERGÉTICOS A 2050 PARA LAS SMART GRIDS EN COLOMBIA
BASADOS EN LOS ESTUDIOS WEC ENERGY SCENARIOS 2050, ENERGY
TRILEMMA 2013 Y ISSUES MAP MONITOR 2013**

DANIEL FELIPE DÍAZ TORO

**Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Ingeniería, Área transmisión
y distribución de Energía Eléctrica, Profundización**

Director

JAIRO LEÓN GARCÍA

Ingeniero Electricista, MSc

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

MEDELLÍN

2014

DECLARACIÓN ORIGINALIDAD

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad”. Art. 82 Régimen Discente de Formación Avanzada, Universidad Pontificia Bolivariana.

Firma Autor  _____

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a Dios, a mis padres y hermano por el apoyo incondicional durante estos años de estudio y de trabajo.

Un agradecimiento muy especial a mí director del trabajo de grado MSc Jairo León García por el apoyo en todos los proyectos, iniciativas y oportunidades para mi crecimiento laboral y personal.

Igualmente extendiendo el agradecimiento al Comité Colombiano del Consejo Mundial de Energía y al Secretario Ejecutivo Ing. José Vicente Camargo.

CONTENIDO

Glosario y siglas.....	9
Resumen.....	12
Introducción.....	13
1. Indicadores de referencia de impacto e incertidumbre para el mapa temático del estudio del WEC <i>Issues Map Monitor</i>	14
2 - Escenarios energéticos realizados en el mundo que aportan al desarrollo de los escenarios para las <i>Smart Grids</i> en Colombia.	32
Escenarios de Shell a 2050.....	34
Escenarios montañas y océanos de Shell.....	41
Análisis de Escenarios Energéticos a 2050.....	43
Energía al 2050 Escenarios para el Futuro	46
Escenarios energéticos en España	50
Escenarios a 2050 en Reino Unido	52
Escenarios energéticos en Estados Unidos	53
Escenarios energéticos Argentina.....	54
Escenarios Energéticos Chile 2030.....	55
3 - Escenarios Jazz y Sinfonía para el desarrollo futuro de las <i>Smart Grids</i> en Colombia	57
Escenario Jazz y Sinfonía para las <i>Smart Grids</i> en Colombia.....	64
Escenario Jazz propuesto	65
Escenario Sinfonía propuesto	69
Conclusiones.....	76
Bibliografía.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Número de noticias en Google News (Elaboración propia)	16
Figura 2 Número de Noticias en Google News en la división media (Elaboración propia) 17	
Figura 3 Metodología utilizada para la partición de los ejes de impacto e incertidumbre (Elaboración propia)	20
Figura 4 Diagrama de flujo para la construcción de los indicadores de referencia propuestos (Elaboración propia)	22
Figura 5 Mapas Temáticos del WEC (World Energy Council, 2013)	23
Figura 6 Mapas con indicadores propuestos de impacto e incertidumbre (Elaboración propia)	24
Figura 7 Indicadores Macroeconómicos, adaptado de (World Energy Council, 2013).....	25
Figura 8 Indicadores de Visión y Tecnología adaptado de (World Energy Council, 2013) 26	
Figura 9 Indicadores de Geopolítica y Regiones adaptado de (World Energy Council, 2013)	27
Figura 10 Indicadores de Ambiente de Negocios adaptado de (World Energy Council, 2013)	28
Figura 11 Emisiones directas de CO ₂ de energía en 2035 (Shell, 2013)	38
Figura 12 Circulo de crecimiento de las ciudades (Shell, 2013)	40
Figura 13 Participación de Energía solar fotovoltaica en 2100 (Shell, 2013).....	43
Figura 14 Mezcla de generación neta de electricidad por fuente en varios escenarios en 2050 para la Unión Europea (Förster, 2012).....	45
Figura 15 Resumen de los Escenarios Limpio pero no brillante, Dinámico pero descuidado y cielos brillantes (International Energy Agency, 2013)	49
Figura 16 Las tres dimensiones del Energy Trilemma (World Energy Council, 2013)	58
Figura 17 Trilema Energético de Colombia (World Energy Council, 2013).....	59
Figura 18 Escenarios Energéticos para las <i>Smart Grids</i> en Colombia al 2050 (elaboración propia)	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos en porcentaje obtenidos de <i>Free Patents</i> (Elaboración propia).....	18
Tabla 2 Datos en porcentaje del estudio de los mapas temáticos (Elaboración propia) ...	20
Tabla 3 Escenarios Energéticos en Estados Unidos (Tonn, 2010).....	53
Tabla 4 Mensajes Claves del Estudio de Escenarios del WEC, adaptado de (World Energy Council, 2013).....	61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: INDICADORES DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DEL WEC *ISSUES MAP MONITOR*

ANEXO 2: ANÁLISIS DEL SISTEMA ENERGÉTICO Y DE LAS *SMART GRIDS* EN COLOMBIA

ANEXO 3: ARTÍCULO PUBLICABLE

ANEXO 4: ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

GLOSARIO Y SIGLAS

- **Glosario**

Biofuels: Biocombustibles

Brazil growth: Crecimiento de Brasil

Capital market constraints: Limitaciones del mercado de capitales

Carbon capture, utilisation & storage (CCUS): Captura utilización y almacenamiento de carbono

China/ India growth: Crecimiento de la China / India

Commodity prices & volatility: Precios de los productos básicos y la volatilidad

Corruption: Corrupción

Currency uncertainty: Incertidumbre Monetaria

Energy affordability: Asequibilidad Energética

Energy poverty: Pobreza energética

Energy prices & volatility: Precios de la energía y la volatilidad

Energy subsidies: Subsidios a la energía

EU cohesion: Cohesión de la Unión Europea

Gas de esquisto: Es un hidrocarburo en estado gaseoso que se encuentra en la formaciones rocosas sedimentarias de grano muy fino.

Global climate framework uncertainty: Incertidumbre Global del Cambio Climático

Hydro power: Energía hidráulica

Hydrogen economy: Economía del hidrógeno

Large scale accidents: Accidentes a gran escala

Microgrids: Micro Redes Inteligentes

New Market Players: Nuevos actores del mercado

Nuclear energy: Energía nuclear

Renewable energy: Energías renovables

Smart Grids: Redes Inteligentes

Smart Metering: Medición Inteligente

Sustainable cities: Ciudades Sostenibles

Terrorism: Terrorismo

Trade barriers: Obstáculos al comercio

Unconventional fossil fuels: Combustibles fósiles no convencionales

- **Siglas**

AMI: (Advanced Metering Infrastructure) Infraestructura de Medición avanzada

CCEE: Consejo colombiano de eficiencia energética

CCS: (*Carbon Capture Storage*) Captura y almacenamiento de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

IEC: (*International Electrotechnical Commission*) Comisión Electrotécnica Internacional.

IEEE: (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) Asociación internacional de ingenieros electricistas y electrónicos

GDP: (*Gross domestic product*) Producto Interno Bruto

LAC: Latinoamérica y el Caribe

Mtoe: (*Million Tonnes of Oil Equivalent*) Millones de Tonelads de petróleo Equivalente

NTC: Norma Técnica Colombiana

PIB: Producto Interno Bruto

PMUs: (*Phasor measurement unit*) Unidad de Medición Fasorial

STN: Sistema de Transmisión Nacional

SVC: (Static Var Compensator) Compensador estático

TICS: Tecnologías de la información y la comunicación

TWACS: (*Two-Way Automatic Communications System*) sistemas de comunicación automáticos de dos vías

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética

WEC: (World Energy Council) Consejo Mundial de Energía

ZNI: Zonas No Interconectadas

- **Unidades**

kWh: Kilovatio hora

MW: Megavatios

RESUMEN

El presente trabajo de grado propone dos escenarios energéticos para las *Smart Grids* en Colombia, con base en el estudio del Consejo Mundial de Energía *World Energy Scenarios 2050* y otros estudios como *Energy Trilemma* y *Issues Map Monitor publicados a finales del 2013*. Los escenarios propuestos recopilan los resultados y conclusiones de estas tres herramientas y reflejan las condiciones que favorecerían la incorporación de las Redes Inteligentes en el año 2050, considerando las variables económicas, políticas, sociales y culturales del país.

También se presentan algunos escenarios energéticos desarrollados en el mundo, con el objetivo de conocer en detalle la metodología de construcción, las variables incorporadas y las referencias bibliográficas que aportaron para obtener los datos de Colombia.

De igual manera, se propone un indicador de Impacto y otro de Incertidumbre para el estudio *Issues Map Monitor* del WEC, los cuales permiten comparar la opinión de los Líderes Energéticos Mundiales con respecto a un tema, por medio de noticias, patentes, tendencias de búsqueda y artículos científicos, para que se puedan realizar análisis que aporten al desarrollo energético mundial y del país.

Es de resaltar, que para desarrollar adecuadamente el trabajo de grado se partió de la propuesta de los indicadores de Impacto e Incertidumbre, seguido de los escenarios desarrollados en el mundo, debido a que estos dos capítulos sirvieron de insumo para proponer los escenarios para las *Smart Grids* en Colombia al 2050.

INTRODUCCIÓN

Son tiempos de grandes incertidumbres, sin precedentes para el sector energético de Colombia. La seguridad energética, la confiabilidad, la asequibilidad y el suministro limpio y equitativo de la energía son clave para el crecimiento económico global, el desarrollo humano y presentan grandes desafíos para todas las personas.

El panorama energético del país y del mundo se encuentra en constante cambio, donde participan nuevos jugadores, nuevas tecnologías, nuevos inversionistas, entre otros.

De igual manera, es importante conocer algunos aspectos que se han presentado en el sector, que han llevado a radicales cambios en el modo como se produce, consume y comercializa la energía. Por estas razones y muchas otras, es fundamental conocer los escenarios para las *Smart Grids* en Colombia a largo plazo, que muestren una diversidad de posibles trayectorias que podrían impactar el sector energético.

Los dos escenarios propuestos para las *Smart Grids* en Colombia a 2050 describen dos mundos, uno donde el país se concentra en la mitigación del impacto ambiental y otro en el que se centra en la equidad social.

La relevancia de este trabajo también se puede apreciar, en que actualmente en Colombia no se cuenta con un estudio de escenarios energéticos hacia el futuro para las *Smart Grids*, como factor para lograr la sostenibilidad energética futura, tampoco se ha realizado este tipo de análisis con base en publicaciones del Consejo Mundial de Energía, los cuales son indicadores de alta importancia para evaluar, comparar y analizar el desarrollo energético de un país. Teniendo presente que el futuro del sector energético de Colombia estará cada vez más ligado al desarrollo de las redes inteligentes, las cuales no sólo suministran energía sino también información para desarrollar inteligencia y que se logre una mejor utilización de las tecnologías y soluciones para optimizar la planificación y funcionamiento de las redes de electricidad existentes, de esta manera tener escenarios para estas redes permitirá desarrollar visiones alternativas del futuro, las cuales pueden ser utilizados para explorar las implicaciones de diferentes conjuntos de supuestos y determinar el grado de solidez de los posibles futuros desarrollos. Actualmente es de resaltar el esfuerzo de la iniciativa Colombia Inteligente, por articular los desarrollos y proyectos de *Smart Grids* de las compañías, pero como se evidenciará en el trabajo de grado todavía existe mucho camino por recorrer y por despertar el interés de las empresas por unir esfuerzos y trabajo conjunto.

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

publicaciones científicas, papers y patentes es muy elevado, se podría pensar que el tema se ha desarrollado mucho más y su incertidumbre sería más baja.

En el caso del impacto su definición tiene que ver con la impresión o efectos muy intensos dejados en alguien o en algo por cualquier acción o suceso (Real Academia de la Lengua Española, 1992).

De esta manera, si sobre un tema particular hay muchas noticias ya sean buenas o malas, el tema es de alto impacto e importancia para el sector.

Igual sucede con la tendencia de búsqueda de un tema, si es muy elevada, no afirma nada sobre su etapa de desarrollo, pero si da la referencia que el tema es de alta importancia por sus efectos sobre el ámbito energético.

Retomando el estudio de los mapas temáticos del WEC, es de resaltar que en éste se evalúan 37 temas con una visión de alto nivel, cubriendo cuatro categorías:

- Riesgos macroeconómicos
- Geopolítica y regiones
- Ambiente para los negocios
- Visión energética y tecnología

Estas temáticas que conforman la encuesta del WEC, fueron consultadas en herramientas como: *Google Trends* y *Google News* para proponer el indicador de referencia de impacto y en *Scopus* y *Free Patents* para proponer el indicador de referencia de incertidumbre.

- La herramienta de *Google Trends* permite observar con cuánta frecuencia se realiza una búsqueda temática particular en varias regiones del mundo y en varios idiomas (Google Trends, 2014).
- *Google News* es un buscador de noticias automatizado que rastrea de forma constante la información de los principales medios de comunicación online. (Google News, 2014)
- *Free Patents* es una herramienta online para consulta de patentes en todo el mundo.
- *Scopus* es una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas.

Después de consultadas estas 4 herramientas, se avanzó en el procesamiento de la información, para pasar a la formulación de la propuesta de los indicadores de referencia.

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

Se encontró que siempre se presentaba un número reducido de temas con altos valores, lo que dificultaba realizar una comparación con los otros, como se presenta a continuación, tomando como ejemplo el caso de la corrupción.



Figura 1 Número de noticias en Google News (Elaboración propia)

La corrupción arrojó un valor de 53.200.000 noticias, lo que dificultaba realizar una comparación directa con los otros temas que tenían un comportamiento similar entre ellos.

Se observó en los resultados de las 4 herramientas (*Google News*, *Google Trends*, *Free Patents* y *Scopus*) que siempre existían de 3 a 5 temas que sobrepasaban en gran cantidad a los otros.

De igual forma, los temas con valor reducido (en *Google News*, *Google Trends*, *Free Patents* y *Scopus*) eran de 3 a 5 y no permitían realizar una comparación con los otros, que tenían una tendencia parecida.

La solución que se planteó teniendo presente que solo unos pocos temas se comportaban como valores Outliers (datos significativamente diferentes a los otros datos de la colección) fue partir los ejes de impacto e incertidumbre en 3 divisiones. En la primera división del eje se ubicaron los 5 temas con alto impacto, en la segunda división se ubicaron los 27 temas con impacto medio y finalmente en la tercera división los 5 temas con bajo impacto. De igual forma se realizó este procedimiento para los tres ejes de incertidumbre.

Por medio de la separación de los 5 primeros y los 5 últimos temas, se observó que los 27 temas restantes tenían un comportamiento mucho más comparable, como se presenta a continuación en la Figura 2, cuya presentación varía considerablemente en relación con la Figura 1.



Figura 2 Número de Noticias en Google News en la división media (Elaboración propia)

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

Después de clasificados los temas en niveles con alto, medio y bajo impacto e incertidumbre, se procedió a obtener la ubicación en porcentaje de los mismos por medio de una regla de tres, como se presenta en la Tabla 1, tomando como ejemplo el número de patentes.

Nota: Para obtener mayor información sobre los cálculos realizados y la distancia de separación entre los temas de las dos metodologías, se puede consultar el Anexo 1.

Tabla 1 Datos en porcentaje obtenidos de *Free Patents* (Elaboración propia)

Temas con Alto número de patentes				
Tema	Patentes	Porcentaje de patentes alto	invirtiendo valores	incertidumbre
<i>Electricity storage</i>	140327	100%	0,00%	8,00
<i>Energy Efficiency</i>	99894	71%	28,81%	9,15
<i>Regional interconnection</i>	45760	33%	67,39%	10,70
<i>Future mobility</i>	37140	26%	73,53%	10,94
<i>Business cycle</i>	16493	12%	88,25%	11,53
Temas con número medio de patentes				
Tema	Patentes	Porcentaje de patentes medio	invirtiendo valores	incertidumbre
<i>Nuclear energy</i>	13928	100,00%	0,00%	4,00
<i>Energy affordability</i>	11122	79,85%	20,15%	4,81
<i>Corruption</i>	10732	77,05%	22,95%	4,92
<i>Carbon capture, utilisation & storage (CCUS)</i>	9216	66,17%	33,83%	5,35
<i>Renewable energy</i>	8855	63,58%	36,42%	5,46
<i>Smart grids</i>	7902	56,73%	43,27%	5,73
<i>New market players</i>	7673	55,09%	44,91%	5,80
<i>Trade barriers</i>	5692	40,87%	59,13%	6,37
<i>Sustainable cities</i>	5360	38,48%	61,52%	6,46
<i>Energy prices & volatility</i>	3193	22,93%	77,07%	7,08
<i>Large scale accidents</i>	2604	18,70%	81,30%	7,25
<i>Biofuels</i>	2460	17,66%	82,34%	7,29
<i>India growth</i>	2390,5	17,16%	82,84%	7,31
<i>Hydro power</i>	2350	16,87%	83,13%	7,33
<i>Hydrogen economy</i>	2092	15,02%	84,98%	7,40
<i>Commodity prices & volatility</i>	1309	9,40%	90,60%	7,62
<i>Capital market constraints</i>	1270	9,12%	90,88%	7,64
<i>Terrorism</i>	1006	7,22%	92,78%	7,71
<i>Brazil growth</i>	813	5,84%	94,16%	7,77

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050, Energy Trilemma 2013 y Issues Map Monitor 2013*

<i>Innovative market design & policies</i>	465	3,34%	96,66%	7,87
<i>Currency uncertainty</i>	330	2,37%	97,63%	7,91
<i>US trade and policy influencing global energy markets</i>	230	1,65%	98,35%	7,93
<i>Energy subsidies</i>	203	1,46%	98,54%	7,94
<i>EU cohesion</i>	178	1,28%	98,72%	7,95
<i>Unconventional fossil fuels</i>	120	0,86%	99,14%	7,97
<i>Energy poverty</i>	102	0,73%	99,27%	7,97
<i>Global climate framework uncertainty</i>	76	0,55%	99,45%	7,98
Temas con bajo número de patentes				
Tema	Patentes	Porcentaje de patentes bajo	invirtiendo valores	incertidumbre
<i>Energy water food nexus</i>	43	100%	0,00%	0,00
<i>Global Recesion</i>	10	23%	76,74%	3,07
<i>Middle East / North Africa fragility</i>	8	19%	81,40%	3,26
<i>Talent scarcity</i>	6	14%	86,05%	3,44
<i>Russia energy diplomacy</i>	1	2%	97,67%	3,91

Nota: En el caso de *Free Patents y Scopus* se creó una columna para invertir los valores, ya que como se explicó anteriormente tener un número elevado de patentes o publicaciones, significa menor incertidumbre (inversamente proporcionales), en comparación con las noticias y la tendencia de búsqueda, donde a un mayor número de estas corresponde un mayor impacto (Directamente proporcionales).

Para comenzar con el proceso de la elaboración de las gráficas, los temas en porcentaje correspondientes al impacto se ubicaron en los ejes, teniendo en cuenta que la primera división corresponde a 5 centímetros y allí se ubicaron los 5 temas con mayor número. Se realizó el mismo procedimiento para la tercera división, ubicando los 5 temas con menor número, dejando un rango de 7 centímetros para los temas de impacto medio.

En el caso de la incertidumbre los temas se ubicaron de manera similar, ubicando los 5 primeros y los 5 últimos temas en un rango de 4 centímetros cada uno, dejando un rango de 4 centímetros para los 27 temas de media incertidumbre. Como se presenta en la Figura 3.

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050, Energy Trilemma 2013 y Issues Map Monitor 2013*

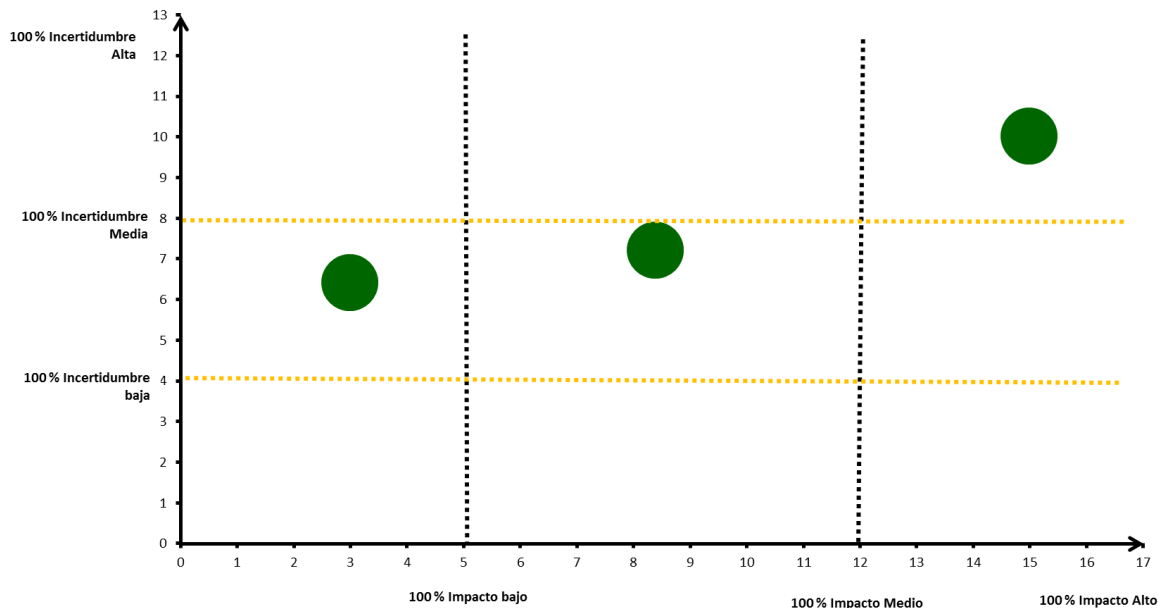


Figura 3 Metodología utilizada para la partición de los ejes de impacto e incertidumbre (Elaboración propia)

Esta propuesta, de partir el eje en tres clasificaciones, no se desvincula del estudio de los mapas temáticos, ya que conserva el procedimiento utilizado para la elaboración del estudio clasificando el impacto y la incertidumbre en niveles bajo, medio y alto.

Finalmente para comparar las dos metodologías, se tabularon los resultados del estudio del WEC y se les asignó un porcentaje en cada eje, de acuerdo con su nivel de impacto e incertidumbre, como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2 Datos en porcentaje del estudio de los mapas temáticos (Elaboración propia)

Temas con incertidumbre Alta		
Tema	incertidumbre	Porcentaje de incertidumbre Alto
<i>Global climate framework uncertainty</i>	11,6	100%
<i>Energy prices & volatility</i>	11,4	98%
<i>Middle East / North Africa fragility</i>	10,5	91%
<i>Global Recesion</i>	10,1	87%
<i>Electricity storage</i>	9,4	81%
Temas con incertidumbre Media		
Tema	incertidumbre	Porcentaje de incertidumbre Medio
<i>Commodity prices & volatility</i>	9	100%
<i>Nuclear energy</i>	8,9	99%

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

<i>Capital market constraints</i>	8,8	98%
<i>Carbon capture, utilisation & storage (CCUS)</i>	8,7	97%
<i>Unconventional fossil fuels</i>	8,5	94%
<i>Business cycle</i>	8,4	93%
<i>Future mobility</i>	7,2	80%
<i>Renewable energy</i>	8,3	92%
<i>Energy subsidies</i>	8	89%
<i>Innovative market design & policies</i>	7,7	86%
<i>Large scale accidents</i>	7,1	79%
<i>Terrorism</i>	7,1	79%
<i>EU cohesion</i>	7	78%
<i>Energy Efficiency</i>	7	78%
<i>Energy affordability</i>	6,8	76%
<i>Trade barriers</i>	6,8	76%
<i>Smart grids</i>	6,4	71%
<i>Hydrogen economy</i>	6,4	71%
<i>Regional interconnection</i>	6,3	70%
<i>Russia energy diplomacy</i>	6,1	68%
<i>Biofuels</i>	6	67%
<i>Currency uncertainty</i>	5,4	60%
<i>India growth</i>	5,4	60%
<i>US trade and policy influencing global energy markets</i>	5,4	60%
<i>Sustainable cities</i>	5,4	60%
<i>Energy water food nexus</i>	4,7	52%
<i>Corruption</i>	4,7	52%
Temas con incertidumbre Baja		
Tema	incertidumbre	Porcentaje de incertidumbre Baja
<i>New market players</i>	4,4	100%
<i>Talent scarcity</i>	3,7	84%
<i>Hydro power</i>	3,3	75%
<i>Energy poverty</i>	2,7	61%
<i>Brazil growth</i>	1,7	39%

Debido a que la construcción de los indicadores de referencia fue un proceso de varios pasos, se ha construido el diagrama de flujo de la Figura 4 que permite observar el paso a paso de la construcción de los indicadores y poder generar los gráficos para realizar la comparación.

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

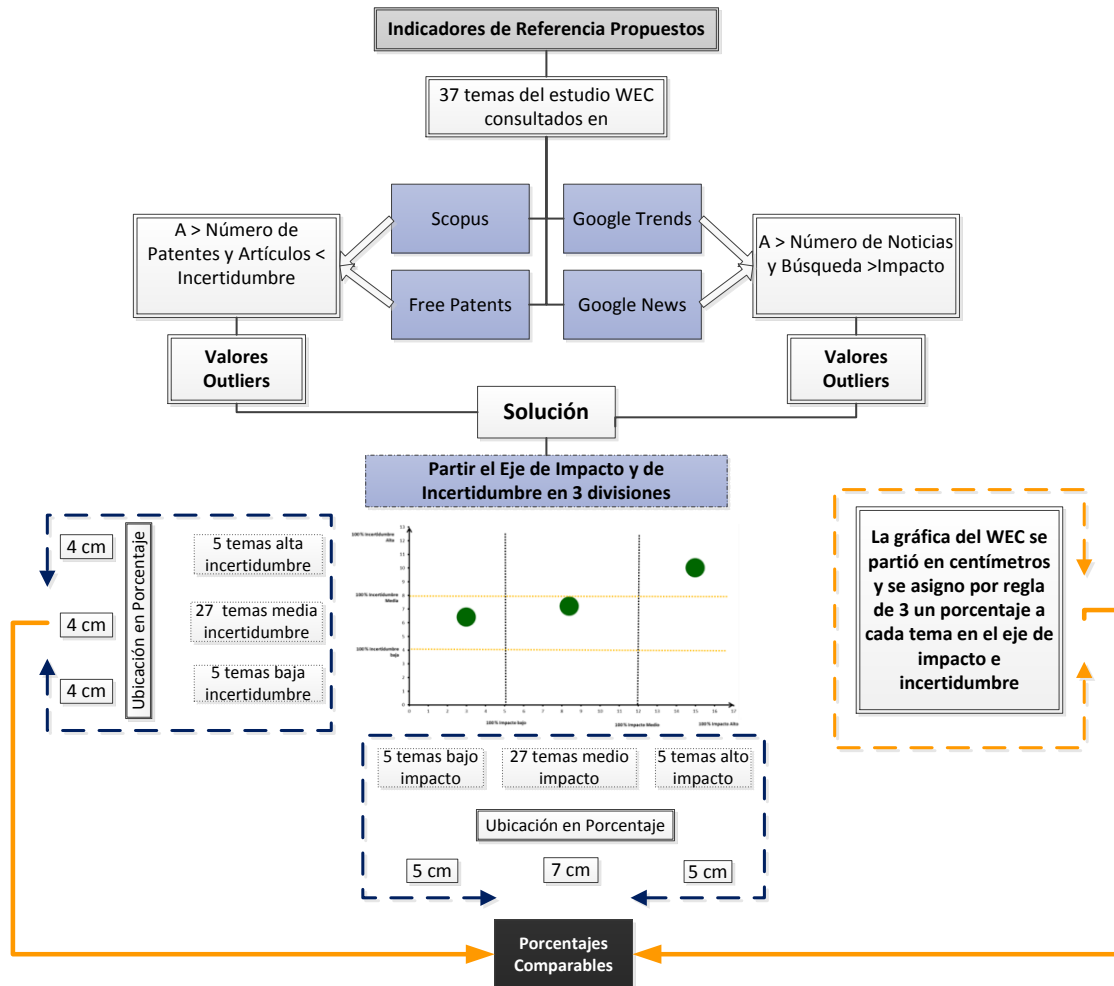


Figura 4 Diagrama de flujo para la construcción de los indicadores de referencia propuestos (Elaboración propia)

A continuación se presenta el mapa temático del WEC, Figura 5 y el mapa con los indicadores de referencia propuestos, Figura 6:

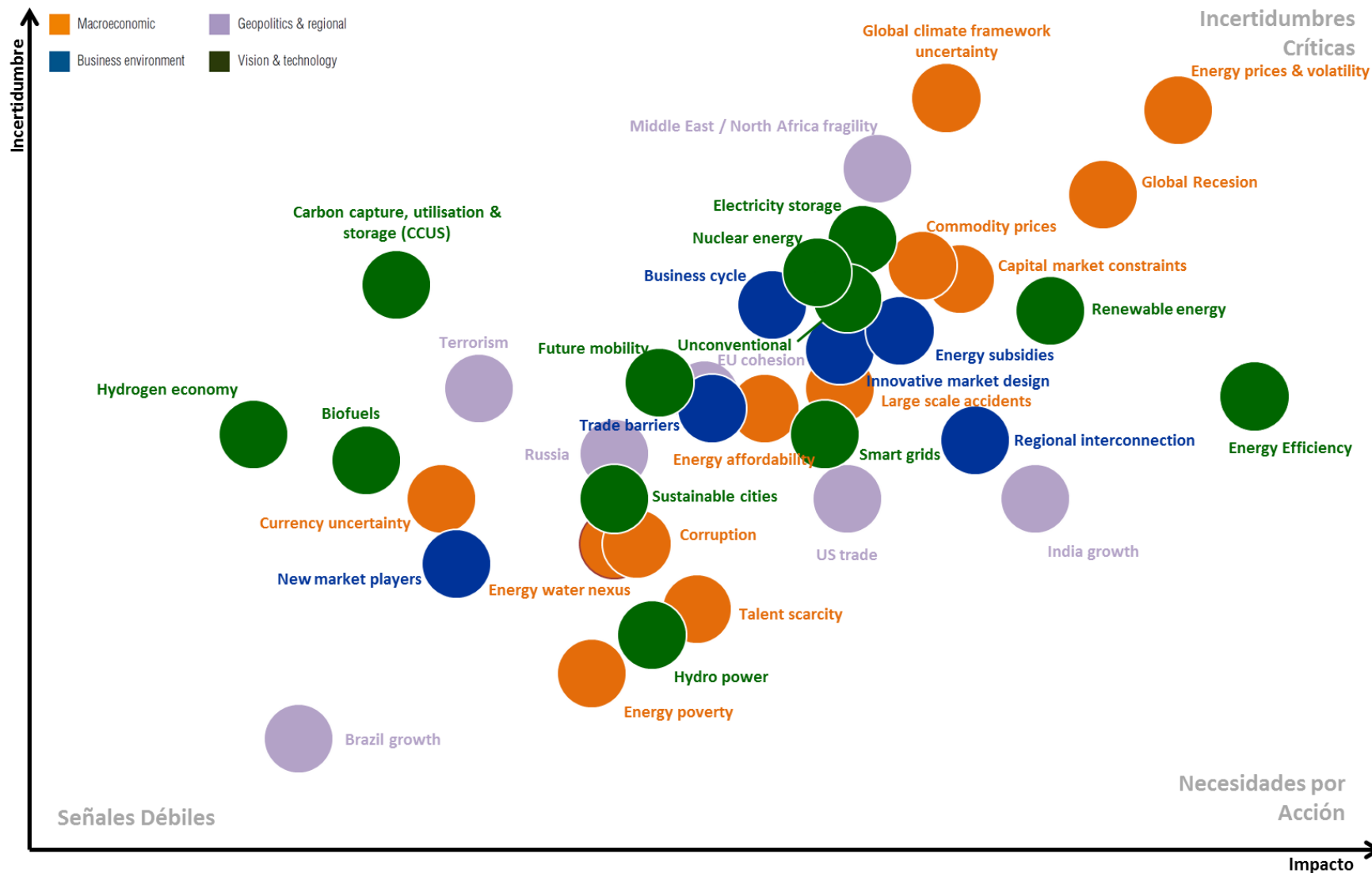


Figura 5 Mapas Temáticos del WEC (World Energy Council, 2013)

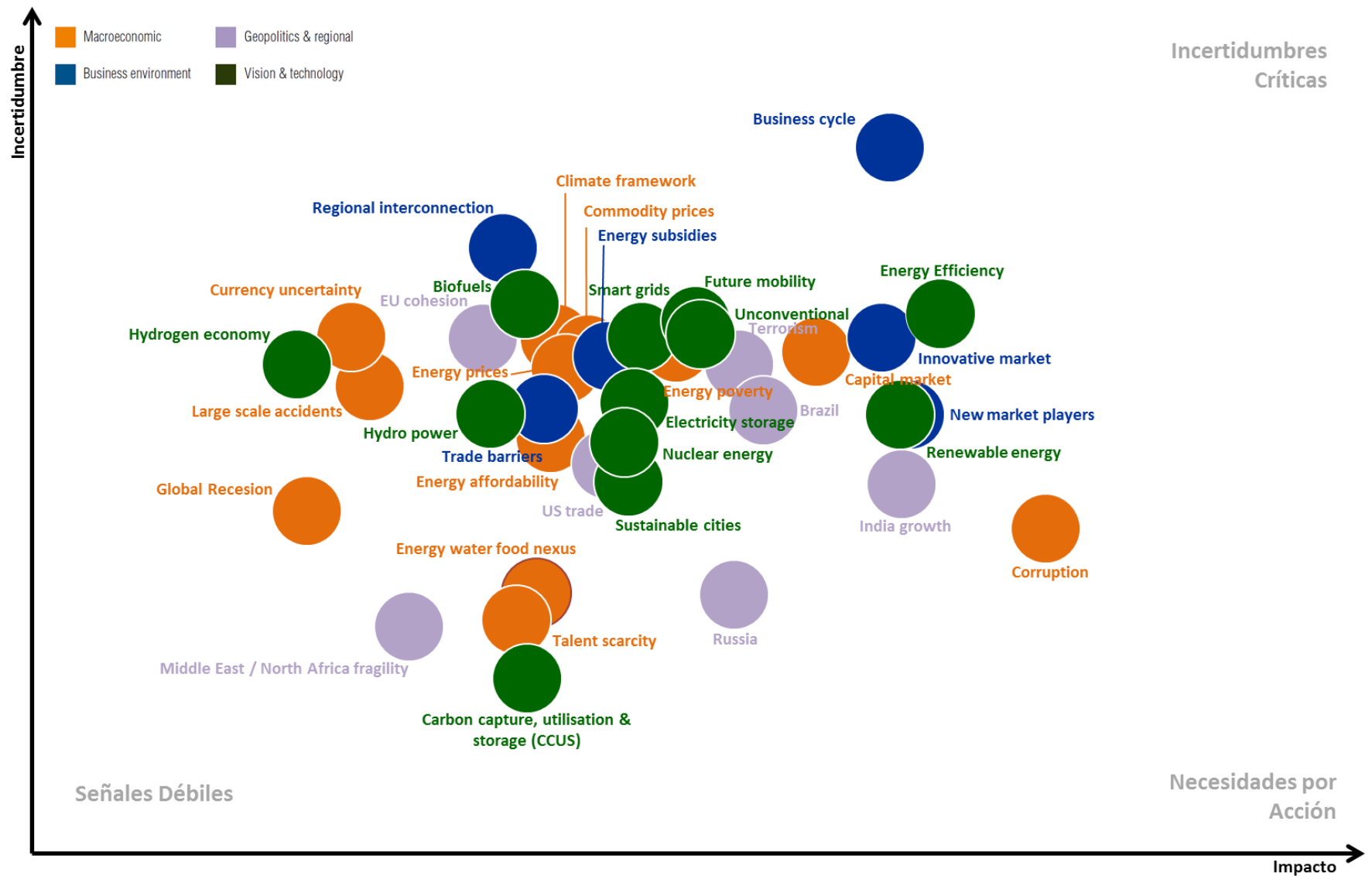


Figura 6 Mapas con indicadores propuestos de impacto e incertidumbre (Elaboración propia)

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

La comparación de estos dos mapas permite observar que algunos temas conservan una posición similar en ambos mapas y otros en cambio tienen comportamientos muy diferentes.

A continuación se realiza la comparación de forma desagregada, de acuerdo a las 4 clasificaciones del WEC: Macroeconómicos, Geopolítica y Regiones, Ambiente de Negocios y Visión y Tecnología, de igual forma los datos extraídos de los mapas temáticos del WEC se presentan en color oscuro, mientras que los de color claro corresponden a los obtenidos por medio de los indicadores de referencia propuestos.

Macroeconómicos.

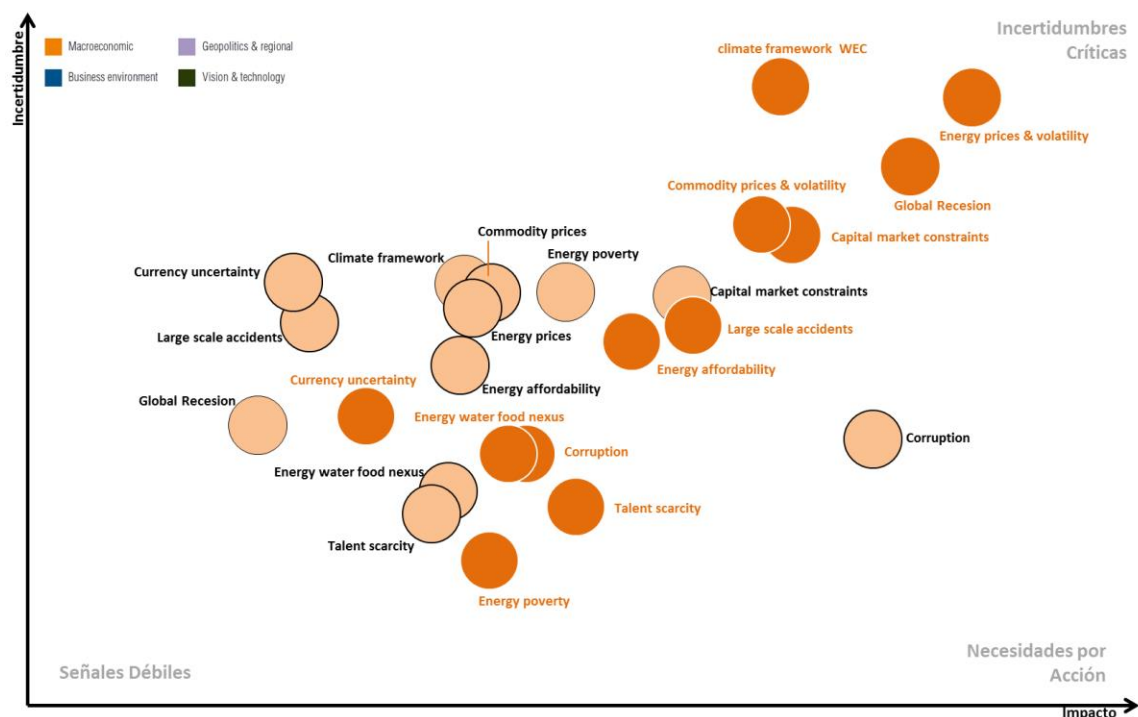


Figura 7 Indicadores Macroeconómicos, adaptado de (World Energy Council, 2013)

De la figura anterior se puede observar que temas como: *Capital market constraints* (restricciones del mercado de capitales), *Currency uncertainty* (incertidumbre monetaria), *Energy water food nexus* (vinculo agua energía), *Talent scarcity* (Escasez de talento) y *Energy affordability* (asequibilidad energética) presentan una posición similar en ambos mapas temáticos.

Sin embargo temas como:

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

Global Recesion (recesión global) en el mapa del WEC se encuentra en las incertidumbres críticas, mientras que en los indicadores de referencia está en señales débiles.

Global climate framework uncertainty (incertidumbre de marco climático global) y *Energy prices & volatility* (volatilidad y precios de la energía) en los indicadores de referencia presentan impacto e incertidumbres medios comparados con los mapas del WEC donde se localizan como una incertidumbre crítica.

Large scale accidents (accidentes a gran escala), *Commodity prices & volatility* (volatilidad y precio de los commodities) y *Corruption* (corrupción) conservan la misma incertidumbre en ambos mapas pero con menor impacto en el mapa obtenido con los indicadores de referencia propuestos. *Energy Poverty* (pobreza energética) conserva el mismo impacto en ambos casos pero mayor incertidumbre en los indicadores de referencia.

Visión y Tecnología

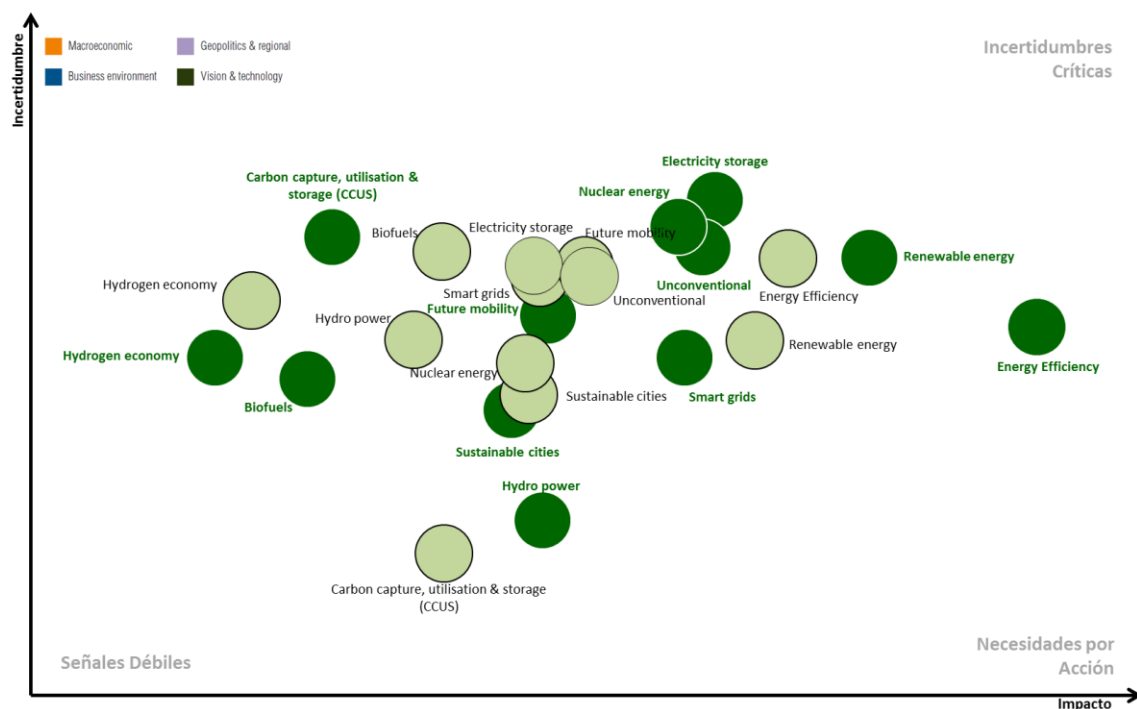


Figura 8 Indicadores de Visión y Tecnología adaptado de (World Energy Council, 2013)

De la figura anterior se pueden obtener las siguientes conclusiones: los temas de Visión y Tecnología tienen una posición similar en la mayoría de los ítems: *Sustainable cities*

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

(ciudades sostenibles), *Renewable Energy* (energías renovables), *Biofuels* (biocombustibles), *Smart grids* (redes inteligentes), *Future mobility* (movilidad futura), *Electricity storage* (almacenamiento de energía), *Unconventional fossil fuels* (combustibles fósiles no convencionales), *Hydrogen economy* (economía del hidrogeno), *Energy Efficiency* (eficiencia energética), *Nuclear Energy* (energía nuclear).

Solo tres temas presentaron variaciones entre los dos mapas:

Carbon capture utilisation & storage (CCUS) (captura, almacenamiento y utilización de carbono) en ambos mapas esta en señales débiles, pero en el estudio del WEC tiene alta incertidumbre mientras en los indicadores de referencia muy baja.

Hydro power (Hidroelectricidad) se caracteriza por tener impactos similares pero varia la incertidumbre, la cual es mayor en los indicadores de referencia.

Geopolítica y regiones

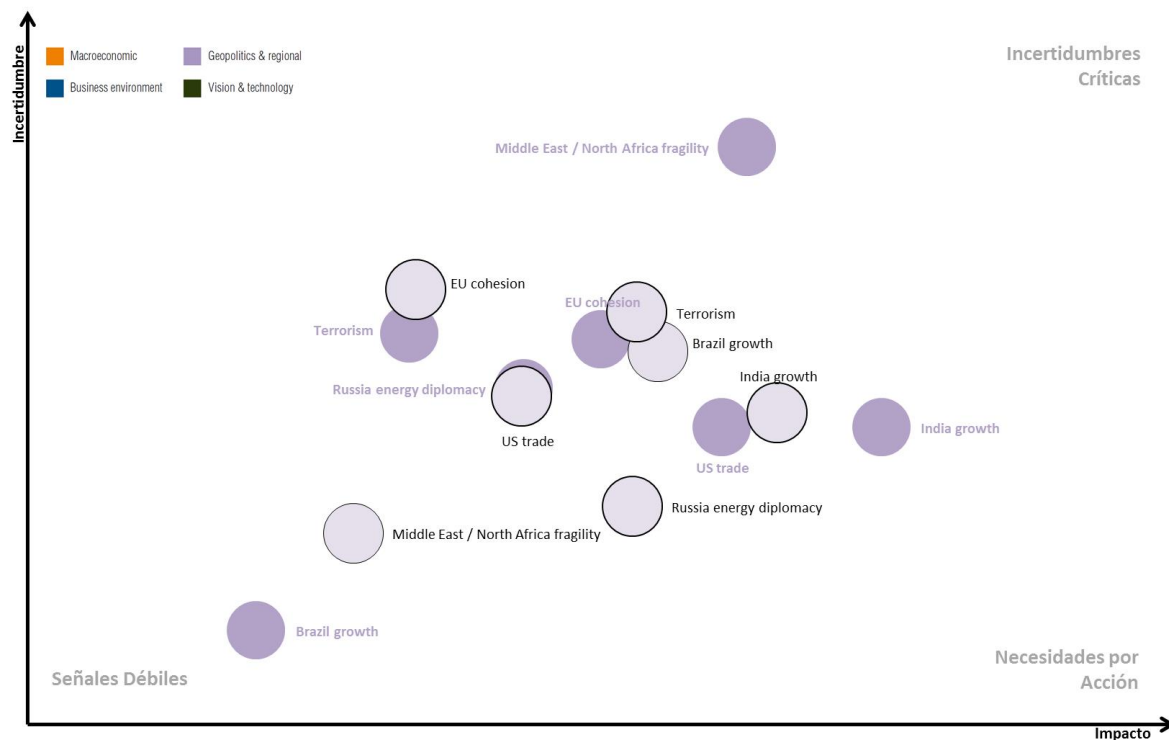


Figura 9 Indicadores de Geopolítica y Regiones adaptado de (World Energy Council, 2013)

La Figura 9 permite observar que temas como *India growth* (crecimiento de India), *EU cohesion* (cohesión de Europa) y *US trade and policy influencing global energy markets*

(el comercio y la política de Estados Unidos influenciando los mercados mundiales de la energía) tienen un comportamiento similar en ambos casos.

Mientras que *Brazil growth* (crecimiento de Brasil) de estar con señales débiles en el estudio del WEC pasa a una posición media en los indicadores de referencia.

Middle East / North Africa fragility (fragilidad de Medio Oriente y norte de África) que pasa estar en la región de las incertidumbres críticas en el estudio del WEC a señales débiles en los indicadores de referencia.

Russia energy diplomacy (diplomacia energética de Rusia), se localiza en los indicadores de referencia como necesidad por acción, muy acorde con la geopolítica actual, mientras que en el mapa del WEC se localiza como señales débiles.

Terrorism (terrorismo) se localiza en incertidumbres críticas en el indicador de referencia y con incertidumbre e impacto medio en Iso mapas del WEC.

Ambiente de Negocios

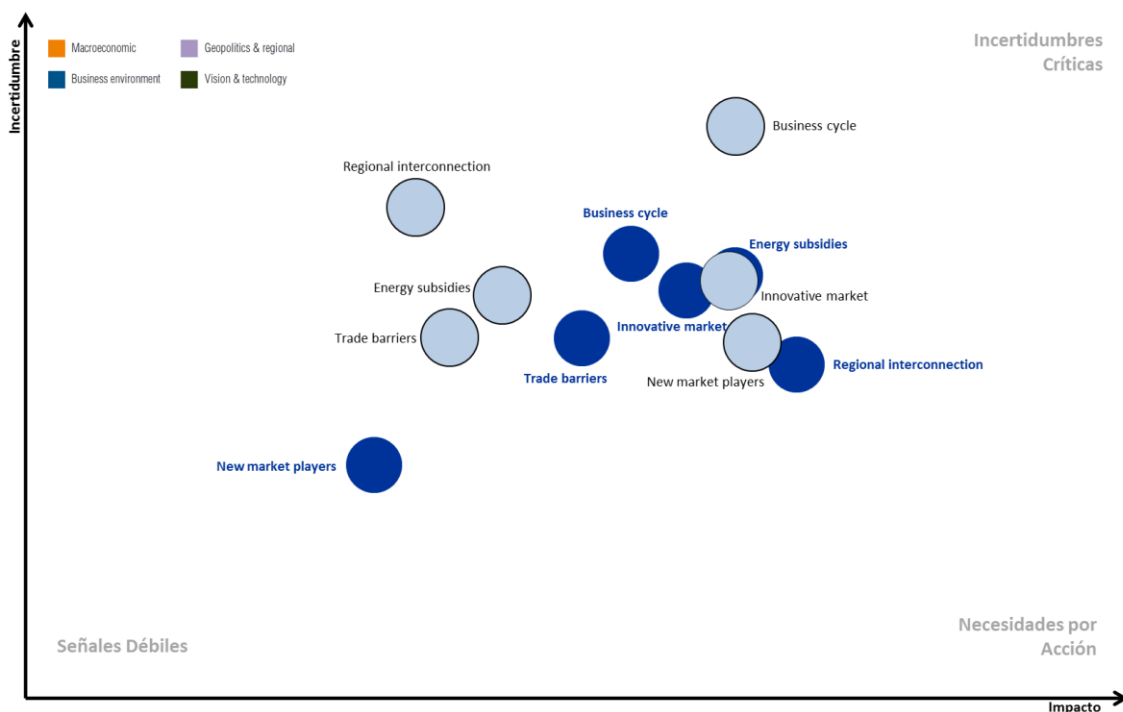


Figura 10 Indicadores de Ambiente de Negocios adaptado de (World Energy Council, 2013)

En el caso de ambiente de negocios, temas como *Trade barriers* (barreras de comercio), *Business cycle* (ciclo de negocio), *Innovative market design & policies* (diseño y las políticas innovadoras de mercado) y *Energy subsidies* (subsidiros de energía) tienen una posición similar en ambos mapas, mientras que temas como *Regional interconnection* (interconexión regional) pasa de tener mucha incertidumbre en los indicadores de referencia, a los temas del centro en el estudio del WEC (necesidades para acción).

Este capítulo del presente trabajo de grado es un importante aporte para profundizar en el análisis de los mapas temáticos del Consejo Mundial de Energía, por parte de los Comités miembros del WEC y todos aquellos interesados en obtener información específica y dotarse de herramientas para la toma de decisiones en su compañía, universidad o entidades gubernamentales. Lo anterior tiene sentido, si se tiene presente que el estudio del WEC se convierte en una valiosa herramienta de análisis del panorama energético mundial, de acuerdo con las perspectivas y opiniones de los líderes energéticos. El presente trabajo viene a llenar un vacío al proveer unos indicadores de referencia para contrastar los resultados del estudio WEC a la vez que facilita la discusión acerca de la situación de un tema en un punto específico en cada uno de los mapas.

Producto de las reflexiones y análisis sobre el estudio del WEC, por ejemplo en el Comité Colombiano del Consejo Mundial de Energía y en talleres realizados en la Universidad Pontificia Bolivariana, comúnmente surgían preguntas como ¿Por qué un tema está clasificado en un lugar específico y no en otro?. Esta pregunta no encontraba fácil respuesta con base en las encuestas realizadas por el WEC y ante la imposibilidad de poder contrastar los resultados obtenidos contra alguna otra variable que ayudara a confirmar o no la posición de un tema de acuerdo con unas condiciones y características específicas del sector energético.

Los indicadores de referencia como su nombre lo indica, pueden ser comparados contra una posición específica de las variables en los mapas temáticos del WEC y profundizar los análisis sobre el porqué se está presentando una variación en la posición de los mismos y los factores influyentes que en uno en otro caso pueden sesgar los resultados. De igual forma cuando se presenten coincidencias en las posiciones permitirá concluir que el tema está siendo visto, en ambos mecanismos, con una misma perspectiva. La presentación de la propuesta de los indicadores, conserva la imagen visual del estudio WEC, así como los nombres y la escala lo cual facilita su comparación.

Los indicadores de referencia son actualizables, como sucede con los mapas temáticos del WEC, ya que las herramientas específicas, Google Trends, Google News, Free Patents y Scopus pueden ser consultadas en cualquier momento para realizar nuevas comparaciones en periodos comparables para ambos mecanismos.

Se debe resaltar, para el ejercicio que se presenta en este trabajo, la existencia de una diferencia en los tiempos en los cuales se tomaron y procesaron las informaciones para ambos casos. La información pertinente para construir los índices de referencia se tomó en el 2014 mientras que las encuestas del WEC fueron recolectadas y procesadas durante el 2013. Este delta en el tiempo de la recolección de la información no invalida los resultados obtenidos, pero es claro que las percepciones sobre un tema pueden variar en el lapso de un año y de alguna manera incidir en la localización de algunas de las variables temáticas para los dos mecanismos.

Sin embargo, a manera de conclusión para el estudio del 2013, se observa que la mayoría de los temas coinciden en posición en las dos metodologías. En general, la comparación de los resultados muestra que solo 4 aspectos presentaron divergencias significativas como:

Global Recesion (Recesión global), la metodología propuesta en este tópico no se aproximó a la visión y a los pensamientos de los líderes energéticos mundiales, para los cuales es una incertidumbre crítica, en comparación con los indicadores propuestos que ven el tema en el cuadrante de las señales débiles.

Global climate framework uncertainty (gran incertidumbre sobre el marco climático global) presentó una tendencia media de resultados en las 4 herramientas de la metodología propuesta, a excepción de *Google News*, donde obtuvo la tendencia de búsqueda más baja de los 37 temas, lo que llevó a que el tema no se localizara en el cuadrante de incertidumbre crítica de acuerdo con las visiones de las personas encuestadas por el WEC. Sin embargo, su posición en la propuesta de los indicadores de referencia se aproxima más a la presentada en el estudio del WEC para la región de Norteamérica (Estados Unidos, Canadá y México), que corresponde al cuadrante de señales débiles.

Energy prices & volatility (Volatilidad y precios de la energía) se caracterizó por tener una tendencia igual en las 4 herramientas (*Scopus, Google News, Free Patents, Google Trends*), y se localiza en el medio del cuadrante, en comparación con la opinión de los líderes energéticos que los ven con mayor preocupación.

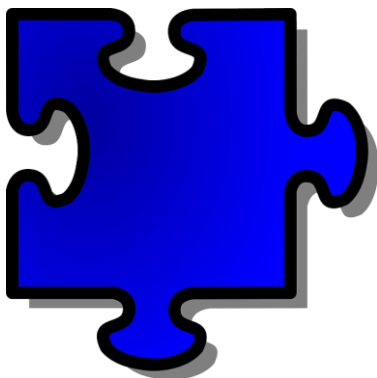
Un análisis detallado de la variación de estos temas (recesión global, volatilidad y precios de la energía y Brasil) encontró que los temas conservan en el mapa del WEC y en el de la región Europea una posición similar, mostrando la fuerte relevancia y peso de esta región, en el trámite de la encuesta temática, que introduce un sesgo debido a que esta región por el número de industrias y empresas miembro, tramitan un número muy elevado de encuestas en comparación con otras regiones.

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

En los mapas temáticos del WEC, Brasil no es un tema de alta relevancia y se encuentra localizado en las señales débiles, pero en los resultados de la búsqueda en las 4 herramientas, se obtuvieron números altos y medios, incrementando el interés sobre el tema.

El tema *Middle East / North Africa fragility* (fragilidad de Medio Oriente y norte de África) el cual actualmente es de gran preocupación y el mundo está pendiente de lo que pasa, no se reflejó en las cuatro herramientas seleccionadas para evaluar los índices de referencia.

Nota: el propósito es proponer y plantear una metodología para realizar análisis exhaustivos y comparaciones de las dos metodologías. Las discrepancias en relación con posiciones diferentes en los dos mapas, debe generar debates e inducir propuestas para mejorar aspectos específicos de los mecanismos utilizados.



2 - ESCENARIOS ENERGÉTICOS REALIZADOS EN EL MUNDO QUE APORTAN AL DESARROLLO DE LOS ESCENARIOS PARA LAS *SMART GRIDS* EN COLOMBIA.

Para desarrollar adecuadamente este objetivo se partió de las siguientes definiciones de escenarios energéticos y *Smart Grids*.

Escenarios energéticos

Un escenario energético es un modelo construido a partir de un conjunto de suposiciones que permite estimar de qué forma evolucionará, por ejemplo, la demanda energética en el futuro, si se cumplen las presunciones en que se basa el modelo.

Entre las distintas variables que influyen en la evolución de la demanda de energía se tiene: las políticas energéticas, el contexto internacional, los precios de los combustibles, el crecimiento de la población y del consumo de energía, el aumento de los niveles de confort exigidos y los nuevos servicios brindados por los dispositivos que consumen energía, entre muchos otros. La evolución de estas variables normalmente determina que el consumo vaya creciendo de forma paulatina con el paso del tiempo, de esta forma, las diferentes suposiciones conducirán a distintos escenarios que conlleven por ejemplo diferentes consumos energéticos. (International Energy Agency, 2013)

También se pueden definir como una herramienta para ayudar a tener una visión de largo en un mundo de gran incertidumbre. Los escenarios son historias sobre la forma en que el mundo podría llegar mañana, historias que pueden ayudar a reconocer y adaptarse a cambiar aspectos del entorno actual, formando un método para la articulación de las diferentes vías que puedan existir para el mañana.¹ (International Energy Agency, 2013)

Los Gobiernos e instituciones de gran nivel utilizan comúnmente este concepto para las estrategias de desarrollo sectoriales. Históricamente, los escenarios energéticos

¹ **Nota:** los escenarios son muy diferentes a los mapas de ruta, ya que estos últimos, básicamente son una secuencia de pasos para alcanzar un objetivo, donde se especifica tiempo y recursos necesarios.

comenzaron a desarrollarse después de la Segunda Guerra Mundial, como un ejercicio intelectual con fines de estrategia militar, pero pronto fueron adoptados por algunas empresas multinacionales como Royal-Dutch Shell para el ejercicio estratégico de la toma de decisiones.

En los últimos 15 años los escenarios energéticos se han generalizado como una herramienta para ayudar en la planificación y en la toma de decisiones políticas de los gobiernos y ministerios, en una variedad de áreas como la investigación para la salud pública, la planificación urbana y el desarrollo de infraestructura energética.

De esta forma, Shell tiene una larga experiencia en el desarrollo del sector energético a largo plazo con el uso de los escenarios, como herramienta para una mejor toma de decisiones empresariales. Shell a principios de 1970 presentó ante la junta directiva dos escenarios, uno titulado sabiduría convencional y el otro llamado crisis del precio del petróleo, estos escenarios prepararon a la empresa para el cambio abrupto en la crisis del petróleo en 1973, esta capacidad de la empresa para responder rápidamente dio lugar a una mayor rentabilidad.

Con los años, los planificadores de Shell han participado y colaborado en el desarrollo de escenarios con organismos como el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible y el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.

En general, los escenarios de Shell están diseñados en torno a "qué pasa si" y son escritos en forma de narraciones para mayor facilidad de comunicación y consideran los cambios en el entorno económico mundial, la geopolítica, recursos como el agua, gases de efecto invernadero, así como la oferta y la demanda de energía para ayudar a los Líderes Energéticos a tomar mejores decisiones.

Smart Grids

Aunque no existe una definición normalizada para las *Smart Grids* se acoge la propuesta por la Plataforma Tecnológica Europea de Redes Inteligentes que las define como las redes de electricidad que pueden integrar de manera inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ellas (los generadores, los consumidores y los que generan y consumen), con el fin de funcionar de manera eficiente, sostenible y económica para garantizar el suministro de electricidad. (European Technology Platform, 2011).

Las Redes Inteligentes no sólo suministran energía sino también información. La "inteligencia" se manifiesta en una mejor utilización de las tecnologías y soluciones, para

optimizar la planificación y funcionamiento de las redes de electricidad existentes, para controlar de forma inteligente la generación y para mejorar la eficiencia energética.

Escenarios de Shell a 2050

El estudio de Shell de escenarios a 2050 que tiene alta relación para el presente trabajo de grado afirma que “Nunca antes la humanidad enfrentó un desafío semejante en cuanto a las perspectivas sobre la energía y el planeta, lo cual básicamente puede resumirse en seis palabras: **más energía, menos dióxido de carbono**”. (Shell, 2013)

El estudio describe dos posibles maneras en que los hechos podrían suceder. En el primer escenario, que es llamado lucha o *Scramble*, los políticos prestan escasa atención a hacer un uso más eficiente de la energía hasta que las provisiones se agotan. De igual manera, las emisiones de gases de efecto invernadero no se toman en serio hasta que producen consecuencias climáticas graves.

En el segundo escenario denominado anteproyecto o *BluePrints*, surgen cada vez más acciones locales para abordar los desafíos que plantea el desarrollo económico, la seguridad energética y la contaminación ambiental. Este escenario se caracteriza porque en este se aplica un precio determinado a las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que representa un importante estímulo para el desarrollo de tecnologías verdes, como la captura y almacenamiento de carbono y medidas para el uso eficiente de la energía, logrando que se reduzcan en gran medida las emisiones de CO₂ en el futuro.

El estudio afirma que el mundo ya no puede evitar tres verdades duras acerca del suministro y la demanda de energía, las cuales se presentan a continuación:

1 Cambio cualitativo en el uso energético

Los países en vía de desarrollo, incluyendo aquellos con gran nivel de población como China e India están ingresando a su fase más intensiva de energía a medida que se industrializan, construyen infraestructura e incrementan el uso del transporte. También se afirma que las presiones en la demanda estimularán el suministro alternativo y una eficacia mayor en el uso de la energía.

2 El suministro luchará para mantener el ritmo

Para al año 2015, el crecimiento de la producción de petróleo y gas de fácil acceso no alcanzará la tasa prevista de crecimiento de la demanda. Aunque el carbón abunda en muchas partes del mundo, las dificultades del transporte y la degradación medioambiental finalmente ponen límites a su crecimiento.

Mientras tanto, fuentes energéticas alternativas como los biocombustibles pueden llegar a ser una parte mucho más significativa en la combinación energética, pero no existe al momento una solución que resuelva totalmente las tensiones de suministro y demanda.

3 Aumento de las tensiones ambientales

Aunque fuese posible que los combustibles fósiles mantuvieran su participación actual en la combinación energética para satisfacer la creciente demanda, la trayectoria de las emisiones de CO₂ podría amenazar gravemente el bienestar del ser humano. Incluso con el uso moderado de los combustibles fósiles y la gestión eficaz del CO₂, el camino a seguir aún constituye un desafío, ya que cada vez se hará más difícil mantenerse dentro de los niveles deseables de concentración de CO₂ en la atmósfera.

Escenario Scramble

El escenario *Scramble* refleja la dinámica detrás de la seguridad energética, donde las presiones inmediatas llevan a los responsables de la toma de decisiones a buscar cómo asegurar el suministro de energía para ellos y para sus aliados en un futuro próximo, de esta manera la atención del gobierno nacional recae en los instrumentos de acción sobre el suministro, incluyendo la negociación de acuerdos bilaterales y la promoción mediante incentivos del desarrollo de los recursos energéticos locales.

La política de acción sobre la demanda no es perseguida significativamente hasta que se agudizan las limitaciones del suministro, de igual manera, la política medioambiental no es verdaderamente abordada hasta que acontecimientos climatológicos importantes dan origen a respuestas políticas, ya que los acontecimientos generan respuestas tardías, pero rigurosas.

- Temor y seguridad

Los gobiernos nacionales como actores principales en *Scramble*, centran sus políticas energéticas en instrumentos de suministro, porque poner freno al crecimiento de la demanda energética y por ende al crecimiento económico es muy poco popular para los formuladores de política.

A nivel internacional, *Scramble* es un mundo de acuerdos bilaterales gubernamentales entre los productores y los consumidores de energía, donde los gobiernos nacionales compiten entre ellos por condiciones de suministro favorables o el acceso a sus compañías energéticas.

Los países en vía de desarrollo luchan por conseguir la energía necesaria para ascender en la jerarquía económica, mientras que los países ricos luchan para adaptar sus modelos de consumo de energía para mantener sus estilos de vida existentes. No obstante, la lucha por la energía a nivel nacional se ve constantemente obstaculizada por la realidad inevitable que los países son interdependientes. Los complejos lazos económicos y políticos y la estructura de transmisión compartida significan que para garantizar la seguridad energética de un país se requiere la cooperación con otros. Los problemas que inevitablemente surgen son tratados de manera lenta e ineficaz debido a la falta de marcos internacionales relevantes y la debilidad de las instituciones multilaterales. (Shell, 2013).

- Trayectoria hacia el carbón

A la luz de las crecientes preocupaciones sobre la energía, las fuerzas políticas y del mercado favorecen el desarrollo del carbón como opción energética ampliamente disponible y de bajo costo. En parte como respuesta a las presiones del público sobre la independencia energética y porque el carbón ofrece una fuente local de empleo. Entre 2000 y 2025, la industria mundial del carbón duplicará su tamaño y en 2050 será dos veces y media más extensa.

Pero el carbón tiene sus propios problemas, indudablemente resaltados por los grupos de presión medioambiental, por ejemplo en Estados Unidos y en otros países de grandes ingresos, la construcción de cada planta de carbón nueva crea un campo de batalla de protesta y resistencia.

A pesar de la protesta generalizada contra el carbón, los gobiernos, temerosos del daño potencial al crecimiento económico, son lentos a la hora de establecer esquemas de gestión significativos con respecto a los gases de efecto invernadero a través de los impuestos al carbono, comercio del carbono y mandatos de eficiencia.

En un intento de moderar la demanda de carbón para la generación de energía, diversos países llegan a la conclusión de que la energía nuclear también debe crecer significativamente. En contraste con el carbón la energía nuclear es una de las fuentes energéticas con mayor dificultad para expandirse rápidamente a escala mundial, ya que lleva tiempo crear capacidad para la minería de uranio y construir centrales nucleares, además de la dificultad de deshacerse de los desechos, incluso en los países donde las instalaciones nucleares son de propiedad y gestión privada, es necesario un apoyo gubernamental y de la sociedad significativo, antes de que las empresas adopten grandes riesgos financieros y a largo plazo para construir nuevas plantas.

- La próxima revolución verde

Los grandes grupos de presión agrícola ya son poderosos en los países desarrollados y se desarrolla anticipadamente un enorme impulso para los biocombustibles, lo que ayuda a satisfacer el rápido crecimiento de la demanda de combustibles de transporte líquidos, pero también lleva a consecuencias no deseadas como que los biocombustibles de primera generación compiten con la producción de alimentos, provocando la elevación de los precios mundiales, en particular en aquellos países que utilizan el maíz como producto básico, de igual manera fomentan indirectamente a que las naciones pobres destruyan grandes zonas de selvas tropicales y hábitats para cultivar aceite de palma y caña de azúcar, trayendo en el futuro cambios en el uso de la tierra que liberan también cantidades significativas de CO₂ almacenado en el suelo.

La reacción a estas consecuencias contribuye a establecer biocombustibles de segunda generación para el año 2020 que utilizan las partes leñosas de las plantas, incluyendo productos como tallos y hojas de las plantas cultivadas para la producción de alimentos. En el futuro en este escenario se visualizan sistemas de certificación para fomentar la sostenibilidad de los biocombustibles tanto de primera como de segunda generación.

- Las soluciones por lo general conllevan inconvenientes

El desarrollo del petróleo no convencional y gas de esquisto ofrece un ejemplo típico del escenario *Scramble* a soluciones con beneficios inmediatos para la seguridad energética, pero con algunas consecuencias negativas posteriores. Por ejemplo desde el 2010 se aprecia cada vez mayor capital aportado por los inversores a proyectos petrolíferos no convencionales, que realizan una contribución importante para abordar las presiones de suministro, sin embargo éstos atraen una creciente oposición de poderosos grupos de protección contra el clima y el agua, que se oponen a la huella medioambiental de estos desarrollos.

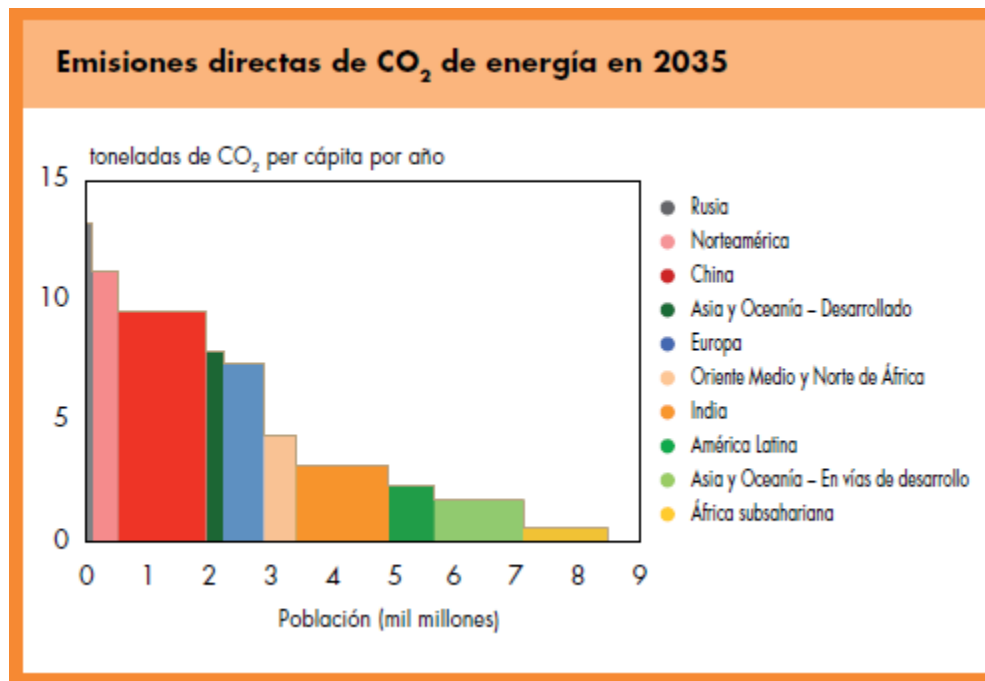


Figura 11 Emisiones directas de CO₂ de energía en 2035 (Shell, 2013)

Escenario Blueprints

En el escenario *Blueprints* se describe un mundo donde los temores más generales sobre el estilo de vida y las perspectivas económicas forjan nuevas alianzas y fomentan la acción, tanto en los países desarrollados como en los países emergentes.

- Empezando por la base

Cuando más consumidores e inversores se dan cuenta de que el cambio no es necesariamente doloroso sino que puede ser atractivo, el miedo al cambio es moderado y acciones sustanciales llegan a ser políticamente posibles. El resultado es que aunque en el mundo de *Blueprints* se registran transiciones profundas y dificultades políticas, la actividad económica global continúa siendo vigorosa y cambia significativamente para utilizar menos energía.

Junto a la búsqueda de una mejora económica, las inquietudes medioambientales locales y la calidad del aire, más que el cambio climático o el espíritu empresarial verde, inicialmente impulsan la acción en países como China, India e Indonesia. Sin embargo, las personas gradualmente relacionan el comportamiento climático local irregular con las implicaciones más amplias del cambio climático, incluyendo la amenaza de los suministros de agua.

- Los desarrollos benefician la energía de los países pobres

En *Blueprints*, el desarrollo desordenado aunque anticipado de soluciones innovadoras y la adopción de prácticas probadas benefician también a las naciones de bajos ingresos, inicialmente, esto obedece a la dinámica del mercado del petróleo donde por ejemplo la OPEP eleva la producción de crudo para mantener los precios más bajos después de posponer el desarrollo de sustitutos más costosos. También empiezan a aparecer los beneficios del crecimiento acelerado y la generación de energía distribuida a partir de la energía eólica y solar. Nuevas turbinas eólicas y paneles solares más económicos se exportan con facilidad a áreas rurales y en un tiempo relativamente corto, muchos pueblos africanos tienen suministro energético procedente de energía eólica o solar.

La exigencia de los gobiernos respecto del uso de vehículos con cero emisiones, los incentivos fiscales para apoyar la fabricación en serie y el mayor uso de energía eólica y solar, estimulan un incremento en el transporte eléctrico. En el escenario *Blueprints*, el uso final más eficiente de la electricidad y el crecimiento más lento en la demanda de energía primaria, significa que la energía de los países pobres se ve fortalecida gracias a los precios más accesibles a la energía.

- Disgregación e integración

Para el año 2050, una de las transiciones revolucionarias observables en *Blueprints* es que el crecimiento económico ya no depende principalmente de un incremento en el uso de combustibles fósiles, ya que **se trata de un mundo de electrones y no de moléculas** (Shell, 2013). Los vehículos eléctricos se están convirtiendo en la norma en el sector del transporte, debido a su atractivo para los consumidores y su rentabilidad, después de que los gobiernos han incentivado el desarrollo de la producción en serie.

La generación de energía a partir de fuentes energéticas renovables crece rápidamente, mientras que a los servicios públicos que todavía confían en el carbón y en el gas se les solicita que implementen tecnologías estrictas para la reducción de carbono. Para 2050, en el mundo desarrollado, casi el 90 % de las centrales generadoras de energía a carbón o a gas serán equipadas con tecnologías de captura y almacenamiento de carbono y en países no miembros de la OECD cerca del 50 %, lo que lograría reducir las emisiones de CO₂ entre el 15 y 20 % en comparación con lo que habrían hecho sin CCS.

Los escenarios *Scramble* y *Blueprints* parten de análisis detallados de principios básicos de suministro energético, demanda y tecnología y aunque retratan el desarrollo económico exitoso y la globalización, ambos tienen puntos de ramificación que potencialmente podrían conducir al caos geopolítico. Sin embargo muestran de manera

general el panorama de posibilidades, limitaciones, oportunidades y elecciones para esta era de transiciones revolucionarias en el sistema energético global.

Este estudio de escenarios de Shell fue analizado teniendo presente que incluye proyecciones al año 2050 y para este año en particular se realizarán los escenarios de las *Smart Grids* en Colombia. Sin embargo, existe otro estudio más reciente de escenarios de Shell publicado en marzo del 2013, que estudia dos escenarios diferentes llamados Océanos y montañas. En éste se afirma que en el año 2050 se espera que alrededor de tres cuartas partes de la población vivan en las ciudades y el mayor crecimiento de la población urbana durante este período será en China, la India, Nigeria y Estados Unidos. (Shell, 2013).

Actualmente, las ciudades utilizan el 66% de la energía total del mundo y en los próximos 30 años esta cifra podría aumentar a casi el 80 %, impulsada por el círculo de crecimiento que se presenta en la siguiente figura.

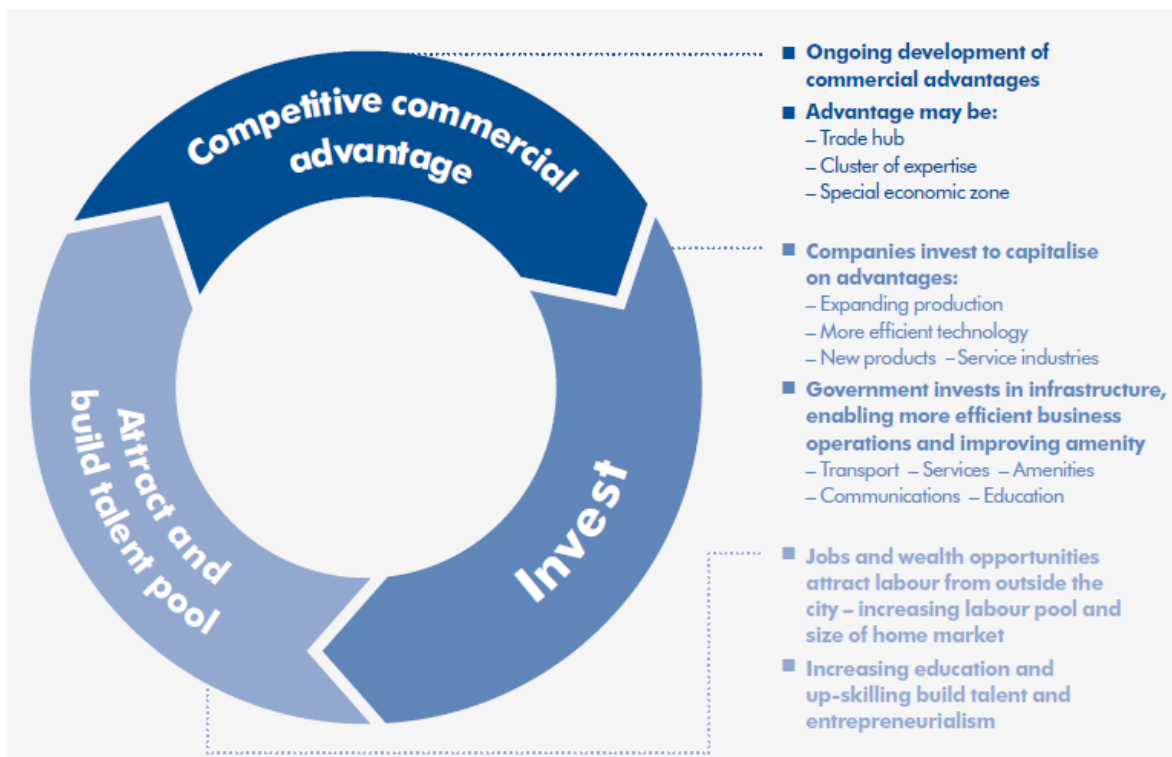


Figura 12 Círculo de crecimiento de las ciudades (Shell, 2013)

Escenarios montañas y océanos de Shell

En los escenarios montañas y océanos se habla sobre patrones recurrentes que giran en torno a la distribución del poder y la disponibilidad de los recursos naturales, así como la influencia que éstos tienen sobre la política, la gente, los mercados y el crecimiento.

Estos escenarios están diseñados para proporcionar nuevos lentes para explorar dos panoramas: las altas montañas donde se ejercen y protegen los beneficios de una posición elevada y anchos océanos con el aumento de las mareas, las corrientes fuertes, y una ambiente volátil de actores y eventos con intereses en conflicto.

En conjunto estas perspectivas permiten ver más allá de 2100 y forman nuevos escenarios para el siglo 21.

Montañas

En este escenario los mensajes claves afirman que

- Las estructuras de poder e instituciones rígidas obstaculizan el desarrollo económico.
- Con menos agentes de poder los avances positivos en ámbitos políticos son posibles por ejemplo en el desarrollo urbano, la energía y el aspecto ambiental.
- El aumento de CO₂ y las tensiones ambientales son moderadas por la desaceleración del crecimiento global; la sustitución del carbón por el gas natural y la utilización de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono.
- El lento ritmo de crecimiento económico mundial lleva algo de presión a la demanda de energía, además las políticas energéticas del lado de la oferta ayudan a desbloquear los recursos y las proyecciones optimistas de los mismos.
- El gas de esquisto goza de amplio éxito y se desarrolla para formar una red troncal de gas para el sistema energético global. La planificación urbana estratégica promueve un mayor desarrollo de la ciudad y promueve la electrificación del transporte.
- Los precios del petróleo siguen siendo moderados en promedio y los precios del gas natural a nivel mundial convergen a niveles más bajos como consecuencia del desarrollo del gas de esquisto en el mundo.
- El desplazamiento parcial del carbón por el gas y los incentivos a la captura y almacenamiento de carbono contribuyen a las reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero después del 2030.

Océanos

En este escenario los mensajes claves para el sector energético afirman:

- La subida de los precios desbloquean los recursos energéticos más caros e impulsan la eficiencia en el usuario final.
- Los combustibles líquidos y el carbón siguen desempeñando un papel de liderazgo en la canasta energética, el gas natural crece pero crea grandes expectativas debido a los marcos de políticas inadecuadas.
- Se presenta un pico en la emisión de gases de efecto invernadero y se mantiene alto por un tiempo prolongado, hasta que se reduzca por la combinación de la biomasa, la captura y almacenamiento de carbono y la energía solar.
- Las economías emergentes siguen creciendo y la demanda de energía aumenta. Fuera de Norteamérica, el gas de esquisto se ha limitado debido a una combinación de la política, geología y decepciones tecnológicas, de esta forma en el escenario océanos el mundo tiene un alto precio del petróleo y el gas.
- Las tensiones de recursos se vuelven severos, de igual forma los altos precios y las crisis periódicas estimulan la atención de la demanda en aumentar la eficiencia de los recursos.

En este escenario se debe resaltar la fuerte participación de energías renovables, debido al aumento de los precios y la demanda. Los biocombustibles se vuelven cada vez más importantes en sectores como la movilidad, donde hay una continua dependencia de los combustibles líquidos, debido a la falta de alternativas creíbles. Sin embargo los recursos renovables que necesitan el consentimiento popular como los parques eólicos y proyectos de energía geotérmica siguen enfrentando gran oposición.

Estas condiciones favorecen el crecimiento de los paneles solares fotovoltaicos, convirtiéndolos en una importante fuente de energía primaria en la economía global, alcanzando el cuarto lugar después del petróleo, gas y carbón en 2040 y continuando hasta la posición número uno en 2100, como se presenta en la Figura 13.

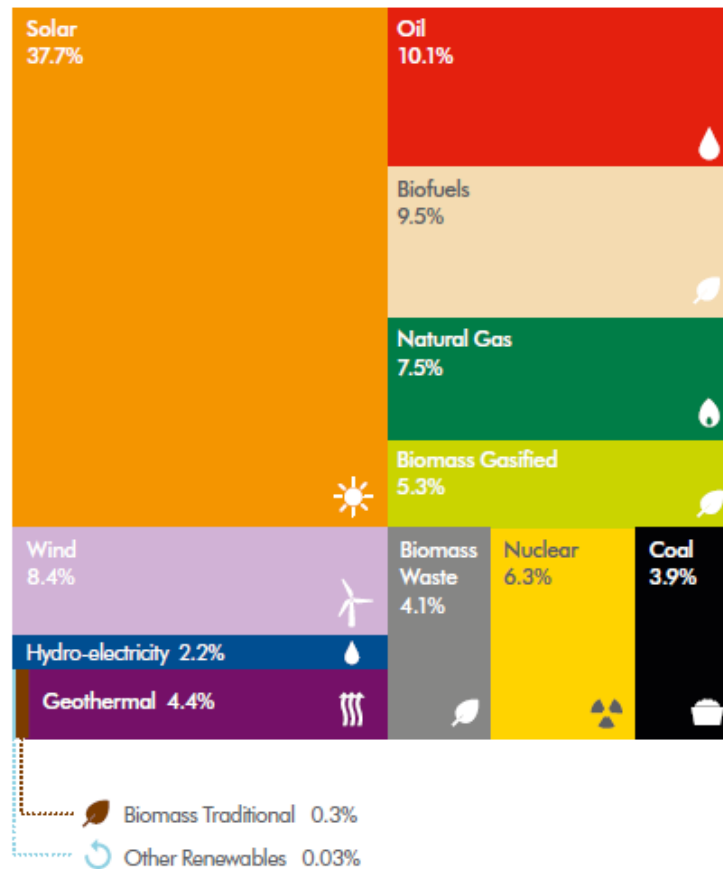


Figura 13 Participación de Energía solar fotovoltaica en 2100 (Shell, 2013)

Análisis de Escenarios Energéticos a 2050

La necesidad de un escenario energético para la Unión Europea al 2050 provocó que se realizaran una gran cantidad de estudios entre el año 2009 y 2011, dando origen a varios escenarios de descarbonización, que logran el objetivo de mitigar las emisiones de la Unión Europea a largo plazo, en al menos un 80 % hasta el año 2050 en relación con las emisiones de 1990. (Förster, 2012)

Como es de esperarse de esta variedad de estudios, cada uno de ellos utiliza diferentes supuestos, enfoques y metodologías, lo que hace que sea difícil comparar y utilizarlos para tomar decisiones específicas y oportunas a nivel de políticas, por esta razón se desarrolló el estudio “Escenarios a 2050” que presenta un análisis comparativo de los escenarios energéticos relevantes para Europa.

De esta forma, fueron evaluados los once (11) estudios de escenarios que se presentan a continuación:

- *Greenpeace International & EREC, 2011*
 - *Revolution scenario*
 - *Advanced Revolution scenario*
- *European Climate Foundation, 2010:*
 - *ECF 40% RES scenario,*
 - *ECF 60% RES scenario,*
 - *ECF 80% RES scenario*
- *Eurelectric, 2009:*
 - *Power Choices scenario*
- *European Commission, 2011:*
 - *Energy efficiency scenario*
 - *Diversified supply scenario*
 - *Delayed CCS scenario*
 - *High RES scenario*
 - *Low nuclear scenario*

En el estudio se resalta la importancia de la aceleración de las mejoras de eficiencia energética en el uso final, de igual forma el futuro crecimiento de la demanda de electricidad tiene que ser limitado con el fin de ser capaz de lograr grandes reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energético, lo que requiere fuertes políticas adicionales en iniciativas.

Todos los escenarios de descarbonización analizados en este estudio sugieren que la mitigación del cambio climático no da lugar a muchas plantas de energía con altas emisiones o que no utilicen tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, sin embargo, aún falta mucho desarrollo y nuevas políticas, debido a que por ejemplo el precio del carbono en julio de 2012 de 10 € / tonelada de CO₂ es demasiado bajo para desincentivar el uso y la construcción de plantas con altas emisiones. (Förster, 2012)

Un aspecto técnico que se debe tener en cuenta para el futuro del sector energético en la Unión Europea y por supuesto en otros países, es que la participación cada vez mayor de fuentes de energía renovables, especialmente de viento y de la energía solar, requiere el uso de múltiples opciones para aumentar la flexibilidad dentro del sistema de potencia, debido a que la red necesita modificaciones, plantas de energía complementarias y sobre todo una capacidad de almacenamiento adicional para hacer frente a la variabilidad de las energías verdes.

La principal área de desacuerdo entre los distintos escenarios de descarbonización analizados en este estudio son las funciones de la energía nuclear y la tecnología de captura y almacenamiento de carbono en un futuro, porque la incertidumbre acerca de estas tecnologías es impulsada por las preguntas sobre sus costos, su aceptación social, y su compatibilidad dentro de un futuro sistema de potencia dominado por la fluctuación de fuentes de energía renovables.

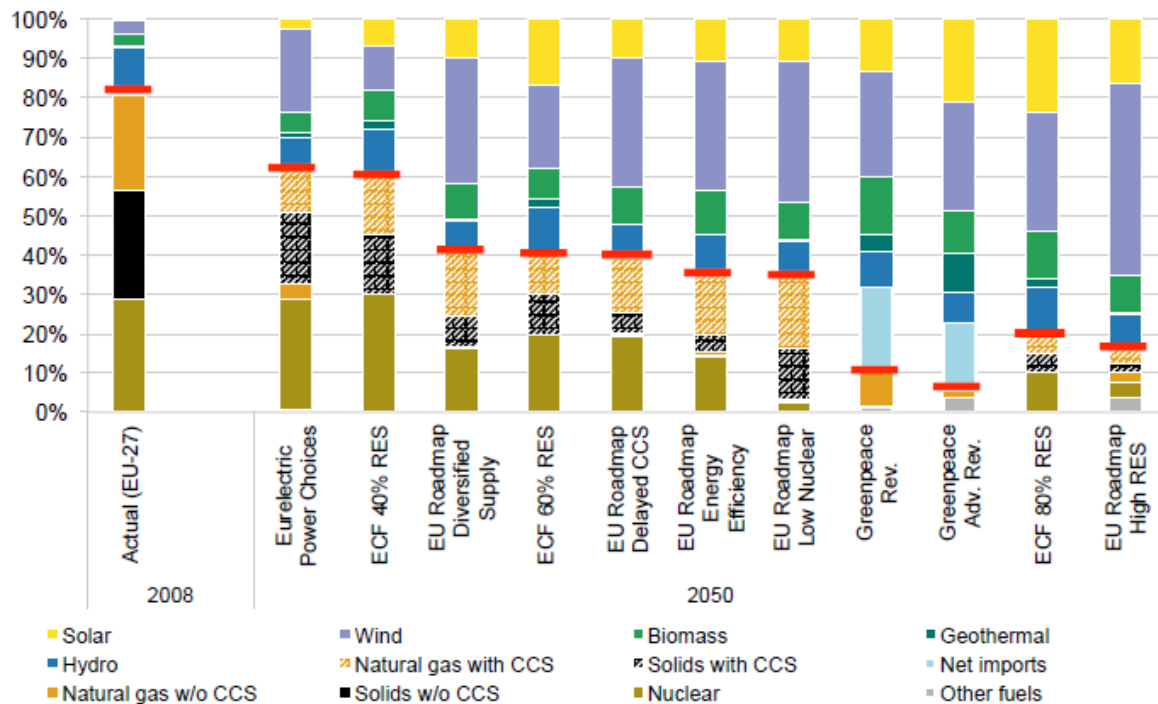


Figura 14 Mezcla de generación neta de electricidad por fuente en varios escenarios en 2050 para la Unión Europea (Förster, 2012)

De la figura anterior se puede observar que las energías renovables desempeñan un papel importante en todos los escenarios en el año 2050, de igual manera, entre las fuentes de energía renovable, la energía eólica desempeña el papel dominante en todos los escenarios.

Por otro lado, la generación de electricidad a partir de fuentes de combustibles fósiles se reducirá significativamente en 2050 en casi todos los escenarios.

Un aspecto a tener en cuenta es que todos los estudios esperan un aumento significativo en los vehículos eléctricos dentro de las próximas décadas y por lo tanto prevén un aumento considerable en la demanda de electricidad en el sector del transporte.

Para el año 2050 las fuentes de energía renovables combinadas se convierten en la fuente más importante de generación de electricidad en los once escenarios de descarbonización analizados. En nueve de esos escenarios las energías renovables alcanzan una participación de al menos el 60% y hasta un 98% en la generación neta de electricidad en el medio del siglo. En el 2020 la cuota de las energías renovables alcanzarán de un 33% a un 43% en todos los escenarios, además para el año 2030 esta proporción aumentará entre 48% y 69% en todos menos uno de los escenarios de descarbonización. (Förster, 2012)

El sólido crecimiento de la energía eólica está previsto incluso desde el corto plazo, ya que la tecnología, en especial la energía eólica terrestre, es relativamente madura y se encuentra entre las opciones de generación económicamente más atractivas de bajo carbono.

Por ejemplo, el carbón en estos escenarios sólo se utiliza de forma limitada y se asume que las centrales con CCS serán tecnologías económicamente viables dentro de las próximas décadas. En 2050 el gas natural predominará claramente entre todos los combustibles fósiles para la generación de energía.

Energía al 2050 Escenarios para el Futuro

El análisis de la intersección entre la energía y la mitigación del cambio climático requieren de la adopción de una perspectiva a largo plazo, debido a que la infraestructura energética necesita tiempo para construirse, de igual forma las nuevas tecnologías energéticas toman tiempo en desarrollarse y aún más para alcanzar su máxima cuota de mercado.

La creciente concentración de gases de efecto invernadero de las actividades humanas afecta los ecosistemas y el clima global, de manera que se requiere un análisis que mire hacia los próximos treinta a cincuenta años, por esta razón en el documento se abordan algunas preguntas como las que se presentan a continuación, que buscan aportar al desarrollo de un sector energético sostenible en el futuro. (International Energy Agency, 2013)

¿Los recursos energéticos van a estar disponibles en el momento que se necesiten?

Existen riesgos geopolíticos que pueden causar interrupciones en la oferta mundial; además las inversiones para construir la infraestructura necesaria para hacer frente al crecimiento de la demanda energética no pueden asumirse como obvias y la mala gestión de la energía puede provocar por ejemplo escasez de gas. De manera que este tipo de

preguntas deben estar presentes en los escenarios por lo menos durante los próximos veinte años.

¿Será la continuación del crecimiento económico y la satisfacción de nuestras necesidades de energía causantes de daños irreversibles en el medio ambiente y por lo tanto comprometerán el bienestar y la seguridad del presente y de las futuras generaciones? ¿Por medio de qué condiciones se puede evitar este resultado?

La última de estas preguntas resume el reto del desarrollo sostenible y es uno de los más graves desafíos que enfrentarán las comunidades en el futuro, al igual que con el tema de la seguridad energética.

Para continuar abordando estas preguntas, en el estudio se presentan algunos datos como población, suministro de energía, demanda de energía, entre otros, que pueden ayudar a visualizar el futuro del sector energético.

Población.

El crecimiento de la población mundial continuará, pero es probable que disminuya en los próximos 50 años. El crecimiento se concentrará en los países en desarrollo. Otras tendencias importantes en este factor incluyen el aumento de la urbanización, especialmente en los países en desarrollo, dando lugar a un creciente número de megaciudades. Para el año 2050, se espera que alrededor del 80% de la población mundial viva en las aglomeraciones urbanas. (International Energy Agency, 2013)

Nivel de ingresos y el crecimiento.

El crecimiento global de los ingresos es probable que sea más lento que en el siglo pasado, sin embargo el desarrollo económico continuará especialmente en economías en vía de desarrollo de una manera más rápida que en los países desarrollados.

El suministro de energía.

En el futuro, de acuerdo a los escenarios abordados en el estudio, habrán suficientes recursos energéticos fósiles para satisfacer la demanda en los próximos 50 años; la pregunta si serán o no extraídos dependerá del ritmo y de la dirección del cambio tecnológico y de la preocupación por el medio ambiente.

La demanda de energía.

La demanda total de energía primaria aumentará en los escenarios. El vínculo entre el crecimiento del ingreso y el crecimiento en la demanda de energía continuará en el futuro.

Gracias a la mejora de las tecnologías, los países en vía de desarrollo están en condiciones de utilizar menos energía que la que utilizaron los países industrializados en condiciones similares en el pasado.

A nivel mundial, las mejoras de eficiencia energética detendrán un poco el crecimiento de la demanda.

En este informe fueron abordados tres escenarios energéticos que buscan al igual que en otros estudios mostrar una visión de cómo será el sector energético en los próximos años.

- **Escenario 1** (*Limpio pero no brillante*): en este escenario se toma como punto de partida un aumento significativo en la actitud y en la preocupación por el medio ambiente, pero se falla en el objetivo de crear las condiciones para la sostenibilidad a largo plazo, ya que no se han desarrollado tecnologías que permitan descarbonizar el sistema suficientemente rápido sin sacrificar el crecimiento económico.
- **Escenario 2** (*Dinámico pero descuidado*): en este escenario inicialmente no se presenta ninguna restricción ambiental para el crecimiento económico, pero al aumentar la presión de la demanda por los recursos fósiles escasos, se plantean riesgos importantes desde el punto de vista de la seguridad energética mundial.

Por otra parte, a través de la aceleración de las tasas de emisión de gases de efecto invernadero, se amenazan algunos de los recursos ambientales de los que dependen las futuras generaciones.

- **Escenario 3** (*cielos brillantes*): este es el escenario más favorable desde el punto de vista de la satisfacción de las condiciones para la sostenibilidad a largo plazo, además se presentan los riesgos más bajos de los tres escenarios, desde el punto de vista de la seguridad del suministro y la protección del medio ambiente.

La Figura 15 permite observar un resumen de los tres escenarios.

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050, Energy Trilemma 2013 y Issues Map Monitor 2013*

	Technological change	Environmental concern	Growth	Security	Emissions
Clean but not sparkling					
Dynamic but careless					
Bright skies					

Figura 15 Resumen de los Escenarios Limpio pero no brillante, Dinámico pero descuidado y cielos brillantes (International Energy Agency, 2013)

Adicionalmente, se debe resaltar que los tres escenarios indican para los próximos cincuenta años un crecimiento sustancial de la demanda de gas en todo el mundo, que se debe a una mezcla de combustible con menos emisiones de carbono en el escenario 1, la diversificación y las consideraciones económicas en el escenario 2 y por razones ambientales y económicas para el escenario 3. La demanda de petróleo aumentará también, aunque no tan rápido como la demanda de gas, y no al mismo ritmo en los tres escenarios considerados.

En cuanto a las implicaciones tecnológicas, los tres escenarios presentan claras diferencias con respecto a las tecnologías a utilizar:

- Escenario 1, además de destacar el comportamiento más eficiente de los usuarios, se concentra en la eficiencia energética y en tecnologías más limpias como energías renovables, seguido de tecnologías con bajas emisiones de carbono como la energía nuclear.
- El Escenario 2 se enfoca inicialmente en tecnologías basadas en combustibles fósiles, pero más tarde para asegurar la seguridad del suministro desarrollan otras alternativas, como la nuclear y el hidrógeno.

- En el Escenario 3 se desarrollan medidas de eficiencia y un enfoque a largo plazo de tecnologías con cero emisores de carbono para la producción de energía a gran escala.

Después de analizar estos escenarios energéticos globales, resulta interesante conocer sobre escenarios específicos para algunos países que se encontraron en la consulta bibliográfica, como es el caso de Estados Unidos, España, Reino Unido, Argentina y Chile, debido a que ayudaron a mirar en que temas se están enfocando estos países para afrontar los retos energéticos del futuro, que tecnologías están planeando utilizar, así como algunas fuentes de consulta que aportaron al presente trabajo de grado.

Escenarios energéticos en España

En el mundo actual con varias crisis energéticas es interesante reflexionar sobre los posibles escenarios energéticos hasta el año 2030, donde aparece el interrogante de cuáles son los desarrollos tecnológicos que demanda la situación actual y en qué plazo estarán disponibles para su utilización comercial.

El cambio climático es quizás el eje alrededor del cual debieran girar los diferentes planteamientos tecnológicos, desde los de eficiencia energética y *Smart Grids* a los de nuevas fuentes de energía, etc, sin olvidar la necesidad que se tiene de reducir la dependencia de los hidrocarburos para eliminar las tensiones en los mercados y evitar conflictos internacionales.

Otro aspecto a tener en cuenta es la opinión de que la tecnología puede resolver los problemas que se presentan, como sucede en el caso de las telecomunicaciones, las cuales avanzan rápidamente y el ciudadano ve por ejemplo cómo evolucionan los teléfonos móviles, reforzando su teoría. Pero la maduración tecnológica en el campo energético es mucho más lenta que en las comunicaciones y se necesita al menos una década para hacer comercial una solución definida por los investigadores; y además este cambio suele implicar costos importantes de inversión. (Menéndez, 2012)

En el aspecto ambiental se debe resaltar que las personas tienen una percepción más clara de lo que acontece en su entorno cercano y de lo que afecta a los espacios globales, de esta forma las poblaciones se preocupan cada vez más por la contaminación atmosférica urbana o por una línea eléctrica o antena de comunicaciones cerca de su vivienda.

Del estudio también se logró concluir que muchos de los cambios ambientales que se espera que sucedan en el futuro se deben en parte a las personas, ya que los ciudadanos siguen depositando sus esperanzas de solución de los problemas ambientales en la política y en la tecnología, lo que denota una baja implicación en los problemas ambientales. También mientras se continúe por ejemplo aumentando el transporte privado en las ciudades, se seguirá jugando con el “no soy responsable de esto”, sin implicarse en la solución de los problemas ambientales y por tanto, sin intención de cambiar los comportamientos de consumo energético.

Esto lleva a concluir que actualmente sólo una minoría muy educada y concientizada participa activamente (grupos ecologistas o personas con estilos de vida muy responsables, entre otros) y es necesario conocer más acerca de la percepción pública del problema medioambiental y tenerla en cuenta en los procesos de gestión desde una perspectiva de negociación, más que de asunción de estrategias.

En el estudio se resalta que un análisis en Perth (Australia) por el autor Kury en el 2005, muestra un dato sorprendente y es que los ciudadanos no perciben la energía como algo natural, sino como un resultado de la tecnología. Mientras que otros recursos como el agua, fueron identificados como elementos naturales y como tales son frágiles, la energía se percibe como algo que es procesado y por tanto, son las instituciones las responsables de obtenerla de diversas fuentes (Menéndez, 2012). Por lo que mientras los ciudadanos no tengan claras las consecuencias de sus hábitos irresponsables de uso de los recursos naturales, no se va a poder actuar con conciencia, ya que se necesita asumir responsabilidad e implicación en las políticas ambientales.

Una encuesta realizada a nivel nacional en España en el año 1995 por Endesa a 1800 personas muestra que el perfil de las creencias y actitudes de la población es conservacionista, donde el 81 % de la población opina que su comodidad no es más importante que el Medio Ambiente y el 65% está bastante o muy preocupado por la naturaleza. Sin embargo, la mayoría de la población cree que no derrocha energía y que consume poco, por esta razón su disposición a colaborar en la lucha por el medio ambiente es muy poco implicada y aportan pequeñas o nulas cantidades de dinero a una asociación ecologista que trabaje por el medio ambiente. Por desgracia, ningún estudio posterior ha demostrado que esta opinión tan generalizada haya cambiado. (Menéndez, 2012).

El estudio concluye que a los españoles les preocupan los problemas del Medio Ambiente que tienen una repercusión más inmediata sobre su vida cotidiana como la escasez de agua, la contaminación atmosférica y el cambio climático, pero el interés y la preocupación son independientes de la responsabilidad y la implicación, como indica el

estudio de García-Mira realizado en Galicia en el año 2005 que afirma que los problemas que más preocupan a la población son de carácter global como la polución, el agujero de ozono y el cambio climático, pero son precisamente estos problemas en los que la población no se siente implicada. (Menéndez, 2012)

Escenarios a 2050 en Reino Unido

En este estudio de escenarios energéticos se resalta que la reducción del consumo energético es una tarea costosa y políticamente controversial. Aunque es más barato conseguir grandes reducciones en la demanda de energía a través de tecnologías de eficiencia y conservación que proporcionar un nivel equivalente de suministro, no necesariamente significa que sea políticamente fácil de lograr. Por ejemplo hacer edificios británicos más eficientes, sigue siendo un desafío político importante. (UKERC, 2013)

En relación con la incertidumbre sobre el suministro óptimo de electricidad hay tres opciones principales bajas en carbono: la energía nuclear, las energías renovables a gran escala y las centrales eléctricas de combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono, sin embargo existe mucha incertidumbre sobre cuál de estas tecnologías se convertirá en dominante. Por ejemplo, la energía eólica terrestre es actualmente la opción más económica baja en carbono, pero experimenta la oposición política a su despliegue a gran escala; la nuclear de nueva generación es aún incierta en el costo y tampoco es políticamente popular, finalmente la viabilidad comercial y técnica de CCS a gran escala aún no se ha comprobado.

Otro aspecto a tener presente está relacionado con los motores de combustión interna, los cuales fueron uno de los inventos más emblemáticos del siglo 20, pero en el año 2050 van a ser más eficientes y se transformarán en motores eléctricos impulsados por baterías.

Este estudio de escenarios tiene algunas afirmaciones como que el sector de la electricidad, con un número considerable de las centrales convencionales de carbón en el futuro será el mayor contribuyente a las emisiones de CO₂, con contribuciones adicionales considerables de los sectores de transporte y residencial.

Las principales contribuciones de los biocombustibles en el transporte y de la energía eólica marina en la producción de electricidad, sólo se producen en períodos posteriores de que se ajusten los objetivos de CO₂.

Las inversiones realizadas entre el año 2010 y 2020, afectarán fundamentalmente el perfil de las emisiones para el 2050 y determinará si el objetivo de emisiones a 2050 se cumplirá de manera rentable.

Escenarios energéticos en Estados Unidos

En relación con los escenarios energéticos para Estados Unidos, se consultó el presente paper que analiza los escenarios de este país en el año 2050 y está diseñado para lograr la sostenibilidad energética, por medio de la sustitución de los combustibles fósiles y el etanol de maíz por otras fuentes de energía sostenibles e inagotables. (Tonn, 2010)

El paper describe la desaparición de los suburbios y la aparición de una mezcla de centros urbanos de alta densidad y eco-comunidades de baja densidad. En la Tabla 3 se presentan los principales aspectos de los escenarios planteados para Estados Unidos:

Tabla 3 Escenarios Energéticos en Estados Unidos (Tonn, 2010)

Supuestos para los escenarios	Supuestos de tecnologías y cambio social
El consumo de carbón será eliminado en el 2050.	Las pérdidas en la transmisión de energía eléctrica disminuirán en un 25% en el 2050, debido a los avances en las líneas superconductoras y a los diseños de Redes Inteligentes.
En el 2050, aproximadamente el 50% de la población vivirá en zonas de alta densidad super-urbanas y el otro 50% vivirá en zonas de baja densidad, semi-auto suficientes	El consumo de energía en los sectores residencial, comercial e industrial se reducirá en un 25% en el 2050, debido a mejoras en la eficiencia energética.
El consumo de energía en el transporte en el 2050 será del 70% de electricidad y el 30% de biocombustibles	La Eficiencia energética en el transporte aumentará en un 40% en el 2050, debido a los vehículos más eficientes y las reducciones en la duración de los viajes, por los cambios en los estilos de vida y por los cambios del uso de la tierra
	El consumo de energía en el sector de la pulpa y el papel se reducirá en otro 20% en el 2050 debido a la disminución de la demanda de papel y envases
	El consumo de energía en el sector de alimentos se reducirá en otro 20% en el 2050 debido a una producción más local

El escenario supone un aumento del 25% en el 2050 en la eficiencia asociada a la transmisión de electricidad, esta es una suposición importante ya que el escenario prevé un sistema de transporte altamente electrificado. En la actualidad, las pérdidas asociadas al transporte de potencia en las líneas de alta tensión se pueden reducir mediante el uso de líneas más cortas, el uso de tensiones más elevadas y la reducción de la cantidad de potencia que se transmite. Con el aumento de la densidad de población en los centros urbanos y la planificación de los centros de población de menor densidad, la longitud de la red de distribución disminuirá, también el uso de nuevas tecnologías podría conducir a mejoras significativas en la eficiencia de la transmisión y la distribución.

La red de transporte de electricidad en Estados Unidos al igual que en otros países debe ser ampliada y mejorada significativamente para cumplir con las necesidades del futuro, debido a que actualmente en muchos lugares de este país ya se han alcanzado las capacidades de la red, además el sistema de potencia actual está diseñado para que se integren fuentes de generación a partir de fuentes confiables como el carbón y las centrales nucleares y no necesariamente energías verdes con alta variabilidad, lo que demuestra la importancia de desarrollar en el futuro tecnologías de almacenamiento como volantes de inercia y ultracapacitores para mejorar este aspecto.

Escenarios energéticos Argentina

La Fundación Vida Silvestre Argentina en 2012, realizó este estudio donde presenta la oferta de energía eléctrica con un horizonte a 2030, promoviendo una fuerte participación de las energías renovables fundamentalmente eólica, solar, biomasa e hidroelectricidad, incluyendo las siguientes premisas (Fundacion Vida Silvestre Argentina, 2013):

- Emisiones de gases de efecto invernadero: drástica reducción de emisiones hacia el año 2030.
- Hidroelectricidad: impedimento de las grandes represas hidroeléctricas en ríos de llanura con clima subtropical.
- Nuclear: no se construyen nuevas centrales nucleares.
- Económicas: Optimización de los costos de provisión del servicio energético, limitando el costo de capital y minimizando los costos de operación y mantenimiento.
- Seguridad energética: Diversificación de la matriz (uso eficiente de la energía e incorporación de nuevas renovables).

- Gases de Efecto Invernadero: reducción de las emisiones en 60% respecto a los valores de 2010.
- Diversificación de la matriz: 39% de energías renovables (eólica, bioenergía y solar); 34% hidroelectricidad y 27% no renovables.

En el estudio se afirma que una de las formas más rápidas y económicas de superar una situación energética crítica es racionalizar, hacer más eficiente el consumo y que en general es más barato ahorrar una unidad de energía que producirla, de esta forma el Uso Racional y Eficiente de la Energía se convierte en un protagonista fundamental de las matrices energéticas de los países desarrollados y de muchos países en vía de desarrollo. (Fundacion Vida Silvestre Argentina, 2013)

En relación con la sostenibilidad en el hábitat, este estudio plantea el desafío de promover un hábitat sostenible que implica, entre otras cosas, la promoción de acondicionamiento natural y la reducción de instalaciones de acondicionamiento térmico y lumínico en edificios, la reducción de la demanda pico de energía eléctrica, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la promoción del reciclaje.

En relación con el cambio climático, el transporte de carga y pasajeros representó en 2010 alrededor del 19% del total del consumo energético del mundo y alrededor del 23% de las emisiones de CO₂. Algunas predicciones, como la realizada por la Agencia Energética Internacional (IEA), afirman que podría ser responsable del 80% de las emisiones de CO₂ en 2050, por este motivo, su contribución a la reducción de gases de efecto invernadero es vital. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) afirma que, aun cuando el resto de los sectores tuviera disminuciones de emisiones drásticas, si el transporte no reduce sus emisiones significativamente por debajo de los actuales para 2050, será muy difícil alcanzar las metas de concentración máxima de CO₂ de 450ppm. (Fundacion Vida Silvestre Argentina, 2013)

Escenarios Energéticos Chile 2030

El estudio fue realizado con el propósito de mostrar cómo estará Chile en el 2030, teniendo en cuenta los cambios que ha tenido el país como la crisis del gas natural argentino de la década anterior, junto a la sequía que ha afectado al país en años recientes y ha dado origen a una matriz eléctrica con altos impactos económicos negativos, impactos ambientales y el creciente rechazo social, lo que ha generado un fuerte cuestionamiento, en materia de política energética, desde los distintos sectores de la sociedad.

De esta manera, la necesidad de contar con una política energética consensuada, con claras directrices para el desarrollo futuro y en forma sostenible, se ha convertido en los últimos años en un asunto prioritario para la sociedad chilena. Con este propósito en febrero del año 2012, el Gobierno lanzó la Estrategia Nacional de Energía 2012-2030, la cual con base en seis pilares (eficiencia energética, energías renovables no convencionales, energías tradicionales, carretera eléctrica, competitividad del sector y la interconexión regional) busca delinear el camino futuro y trabajar en los diversos ámbitos para materializar las líneas estratégicas. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer para alcanzar la política energética que Chile necesita para su desarrollo. (Plataforma Escenarios Energéticos Chile 2030, 2013)

Es de resaltar que se debe seguir trabajando en el desarrollo de escenarios energéticos para la región, ya que cuando se revisó detalladamente la bibliografía se encontró el estudio “Escenarios energéticos para América Latina”. (Fundación Heinrich Boll, 2011). Pero más que mostrar proyecciones hacia el futuro de cómo será el sector energético en la región, muestra el sector en el presente de Argentina, Brasil, Uruguay y Chile, sin hacer proyecciones hacia el futuro y sin incluir en ningún momento a otros países latinoamericanos. Demostrando que esta denominación no sería la apropiada porque se acerca más a una descripción de la situación energética actual de algunos países.



3 - ESCENARIOS JAZZ Y SINFONÍA PARA EL DESARROLLO FUTURO DE LAS SMART GRIDS EN COLOMBIA

El capítulo anterior del presente trabajo de grado permitió identificar las metodologías que utilizan algunos estudios de escenarios para sus supuestos de cómo estará el sector en el futuro, así como aprender del modo en que se deben presentar las propuestas, tanto graficas como en forma de narración, especialmente en el estudio de escenarios de Shell.

De igual forma, es de resaltar que este objetivo se realizó con base en tres importantes estudios del Consejo Mundial de Energía: *Energy Scenarios 2050*, *Energy trilemma* y *Issues Map Monitor*, de manera que es de alta importancia entender la metodología y procedimiento de elaboración de cada uno de ellos.

Energy Trilemma (Trilema Energético del WEC)

El Consejo Mundial de Energía, define la sostenibilidad energética con base en tres dimensiones: seguridad energética (disponibilidad), equidad social (acceso y asequibilidad a la energía) y la sostenibilidad ambiental. Estas tres metas constituyen un “trilema” que en su solución lleva implícita una compleja red de vínculos entre actores públicos y privados, gobiernos, reguladores, factores sociales y económicos, recursos nacionales, intereses ambientales y comportamientos individuales.

- Seguridad energética

Tanto para los países exportadores como para los importadores de energía se refiere a la gestión eficiente del suministro de energía primaria desde fuentes domésticas, o externas. Requiere, además, garantizar una gran confiabilidad de la infraestructura energética y la capacidad para atender la demanda actual y la futura. Para los países exportadores netos de energía, también tiene que ver con la capacidad de mantener los ingresos provenientes de los mercados externos.

- Equidad social

Su objetivo es la accesibilidad y asequibilidad a la energía, para toda la población. La energía es parte de la vida de las personas hoy, más que antes. El reto, lograr la reducción de la pobreza energética.

- Mitigación del impacto ambiental

Involucra el logro de eficiencias energéticas tanto desde el lado de la demanda como desde el suministro e igualmente mayor participación de fuentes energéticas renovables con bajas en emisiones de carbono, en las canastas energéticas.

De esta manera, idealmente, la respuesta a estos retos se expresa como un triángulo equilátero y el desarrollo y mantenimiento de la sostenibilidad energética implica balancear equilibradamente las tres dimensiones del Trilema como se presenta a continuación.



Figura 16 Las tres dimensiones del Energy Trilemma (World Energy Council, 2013)

Se debe resaltar que los sistemas energéticos en el mundo presentan diferentes estados de desarrollo, pero todos los países comparten un problema común: están muy lejos de lograr sistemas energéticos sostenibles (World Energy Council, 2013).

A continuación se presenta el triángulo de Colombia, donde se aprecia que las dimensiones de la mitigación del impacto ambiental y la seguridad energética están entre

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

los valores más altos del ranking mundial, pero la equidad social se encuentra en una posición más rezagada, debido a que el acceso a la energía continua siendo un tema de preocupación en el país, donde un alto porcentaje de la población se encuentra desconectado o con acceso precario a formas modernas de energía (problemas de acceso económico y disponibilidad).

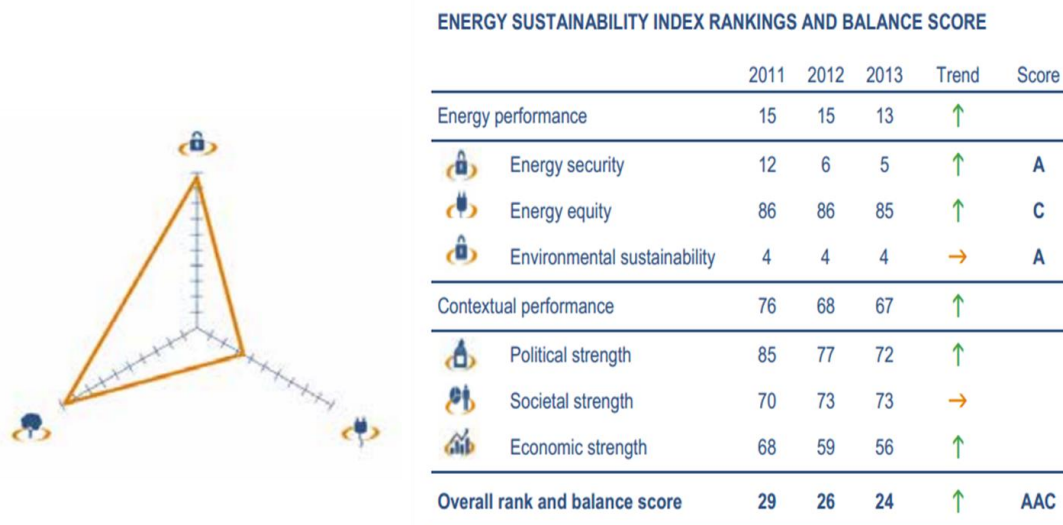


Figura 17 Trilema Energético de Colombia (World Energy Council, 2013)

Issues Map Monitor (Mapas temáticos del WEC)

El Consejo Mundial de Energía desarrolló una metodología para identificar las perspectivas del sector energético mundial, clasificándolo en diferentes temas (Riesgos macroeconómicos, Geopolítica y regiones, Ambiente para los negocios, Visión energética y tecnología), como se apreció detalladamente en el desarrollo del primer capítulo del presente trabajo de grado.

Energy Scenarios 2050 (Escenarios Energéticos a 2050)

El estudio de escenarios del WEC aborda dos escenarios energéticos, el *Jazz* y *Sinfonía*, donde intenta proporcionar una herramienta para medir el posible impacto de las decisiones en el futuro.

Este estudio de escenarios tiene la característica que en lugar de decirle a los políticos y líderes de la energía de alto nivel lo que deben hacer, para lograr un objetivo político específico, permitirán poner a prueba los supuestos clave que darían forma a la energía

del mañana y que por ejemplo los inversionistas puedan utilizar esta herramienta para evaluar cuáles sean probablemente las áreas más dinámicas del futuro. (World Energy Council, 2013).

Estos dos escenarios están diseñados para ayudar a una variedad de interesados a abordar y a balancear en el futuro el trilema de la sostenibilidad energética y que se puedan a lo largo del tiempo desarrollar políticas energéticas. Es de resaltar que un escenario no es necesariamente mejor que el otro y no debería ser juzgado como tal. En cambio, permiten tener una visión más amplia y llamar a la reflexión sobre las implicaciones globales de las decisiones en el futuro.

Jazz

El nombre de este escenario se debe a que el Jazz es un estilo de música, que se caracteriza por una estructura rítmica fuerte pero flexible. En Jazz los músicos tienen la libertad de tomar la iniciativa e improvisar, mientras que otros en la banda a menudo los siguen. El Jazz tiene un enfoque de equidad social priorizando el acceso universal y la asequibilidad a la energía como resultado del crecimiento económico.

Sinfonía

El nombre de este escenario se debe a que una Sinfonía es una pieza compleja de música con una estructura fija compuesta para ser interpretada por una orquesta sinfónica. Sinfonía tiene un enfoque de sostenibilidad del medio ambiente a través de políticas y prácticas coordinadas internacionalmente.

El desarrollo del presente trabajo de grado se enfoca en proponer dos escenarios energéticos para las *Smart Grids* con base en los escenarios WEC que proporcionan una variedad de datos y suposiciones que permite obtener adecuados modelos de referencia para las redes inteligentes.

El estudio del WEC de escenarios energéticos identificó 10 mensajes claves para definir el futuro en el 2050, los cuales afectarán e influenciarán de igual forma el desarrollo y transformación del sector energético de Colombia:

Tabla 4 Mensajes Claves del Estudio de Escenarios del WEC, adaptado de (World Energy Council, 2013)

Mensajes Claves Estudio Escenarios WEC		Aplicabilidad a las <i>Smart Grids</i>
1	La complejidad del sistema energético aumentará al 2050	El panorama energético en el 2050 relacionado con las Redes Inteligentes será muy diferente de la forma en que se ve hoy en día, ya que incorporará nuevas tecnologías, nuevos sistemas y nuevas prácticas. Solamente un futuro energético inteligente hará posible la gestión del sistema energético para obtener altos niveles de seguridad, costos bajos y emisiones de CO ₂ reducidas.
2	La eficiencia energética es crucial para afrontar la demanda y la oferta	Las Redes Inteligentes y el almacenamiento de energía son absolutamente cruciales para hacer frente a la creciente demanda que superará la oferta. Las tecnologías energéticas inteligentes permitirán maximizar la eficiencia energética en los sistemas actuales y futuros, nuevos modelos de negocio para la producción y la seguridad energética impulsando cambios de comportamientos.
3	La canasta energética mundial en el 2050 será compuesta principalmente por combustibles fósiles	Los combustibles fósiles seguirán teniendo un papel crucial tanto para la generación de energía como para el transporte, particularmente en el escenario Jazz. Sin embargo, el WEC anticipa un incremento de las tecnologías de generación de energía no emisoras de CO ₂ a nivel mundial. Las <i>Smart Grids</i> permiten acoplar y desarrollar adecuadamente los sistemas de potencia.
4	Las prioridades regionales varían: no hay una solución única para el trilema energético en todos los países.	La solución al trilema energético involucra una gestión crítica de equilibrio sobre la seguridad energética, la sostenibilidad y la equidad. En un futuro energético inteligente el sistema en su conjunto puede alcanzar seguridad, bajos costos y emisiones reducidas.
5	La economía mundial alcanzará los 450 ppm de CO ₂ si no se acuerdan precios aceptables para el carbono. ²	Los Escenarios Energéticos del WEC a 2050 señalan que la reducción del efecto invernadero es posible en la segunda mitad del período de los escenarios, si se logran alcanzar los acuerdos globales y la aplicación de instrumentos de mercado rentables para el comercio de emisiones. El precio del CO ₂ tiene que ser lo suficientemente alto para crear las señales

² Se debe resaltar que un incremento por encima de las 450 ppm (partes por millón) de CO₂ en la atmósfera podría dar lugar a efectos irreversibles sobre el cambio climático.

Mensajes Claves Estudio Escenarios WEC	Aplicabilidad a las <i>Smart Grids</i>
	adecuadas para proporcionar un incentivo adecuado para la reducción de CO₂. En el escenario Sinfonía las emisiones de CO₂ empiezan a bajar a partir de 2030, mientras que en Jazz las emisiones de carbono lo hacen alrededor del 2050, demostrando una vez más la importancia de la incorporación de nuevos desarrollos y tecnologías <i>Smart Grids</i> para reducir el impacto ambiental.
6 Un futuro con bajas emisiones de carbono no solo está relacionado con las energías renovables: captura y almacenamiento de carbono es importante y los comportamientos de los consumidores también deben cambiar	La captura de carbono, el uso y el almacenamiento es una tecnología adecuada para reducir las emisiones de CO₂. Dada una adecuada señal de precios del CO₂, las tecnologías de CCS pueden desempeñar un papel importante a partir de 2030 como una opción rentable de mitigación de CO₂. Existen problemas como la viabilidad técnica a gran escala, la resistencia pública y el costo de la infraestructura, pero son dificultades que se pueden ir superando. Las <i>Smart Grids</i> pueden aportar por medio del desarrollo de nuevos modelos de negocios. Un futuro con bajas emisiones de carbono no sólo está vinculado a las energías renovables. Se hace necesario cambiar el comportamiento de los consumidores, los cuales pueden aportar considerablemente al propósito de descarbonizar el sistema energético.
7 Tecnologías de captura y almacenamiento de carbono CCS, energía solar y almacenamiento de energía son las incertidumbres claves para el 2050	La tecnología CCS ya está disponible, pero se necesitan marcos legislativos claros en combinación con la inversión en infraestructura y los incentivos adecuados para su difusión y aplicación. En relación con las tecnologías de almacenamiento de energía, las baterías e hidrógeno, requieren más investigación y desarrollo para que se conviertan en tecnologías viables comercialmente y especialmente para superar el problema de la intermitencia de las energías renovables en el escenario Sinfonía.
8 Balancear el trilema energético implica tomar decisiones difíciles	Los ciudadanos se enfrentan a una elección entre la energía asequible, con un mayor crecimiento económico en el escenario Jazz, o mayores precios de la energía pero con menos impacto sobre el medio ambiente, en el escenario Sinfonía.

Mensajes Claves Estudio Escenarios WEC		Aplicabilidad a las <i>Smart Grids</i>
		Esto pone de manifiesto que se requiere una visión integral de largo plazo en el sector energético para abordar el trilema hasta el 2050 y más allá.
9	EL funcionamiento de los mercados energéticos requiere inversiones y la integración regional para ofrecer beneficios a todos los consumidores	La disponibilidad de fondos para la inversión es uno de los aspectos claves en la construcción de escenarios que darán forma al panorama energético hasta 2050. El WEC evaluó las implicaciones de la inversión en los escenarios Jazz y Sinfonía, concluyendo que son necesarias decisiones de inversión a largo plazo para satisfacer la demanda energética futura. Este es un aspecto fundamental que se debe tener presente para el desarrollo de proyectos de <i>Smart Grids</i>, ya que desde su concepción se deben considerar el aspecto económico y el retorno de las inversiones. Moverse hacia un futuro energético inteligente requerirá cooperación entre gobiernos, empresas y consumidores, cada uno con un rol diferente pero crucial en la transición.
10	Las políticas energéticas deben apoyar el desarrollo de los mercados energéticos y del carbono.	Estos aspectos son fundamentales para el desarrollo de las <i>Smart Grids</i> que necesitan una participación del consumidor, apoyo gubernamental y desarrollo de nuevos modelos de negocio.

Los escenarios del WEC son dos visiones del mundo, que a largo plazo buscan la manera de gestionar adecuadamente la sostenibilidad energética en sus tres dimensiones, lo que permite el desarrollo de los componentes claves de los sistemas energéticos inteligentes futuros.

Una mirada a los escenarios del WEC.

- **La seguridad energética en los escenarios del WEC**

No existe una gran diferencia en la seguridad energética en los dos escenarios, ya que Sinfonía utiliza fuentes energéticas subsidiadas e incentivadas por los gobiernos, mientras que el escenario Jazz se focaliza en el consumidor para garantizar el acceso y la asequibilidad a la energía, calidad en el suministro y el uso de las mejores fuentes energéticas disponibles.

- **Equidad social en los escenarios del WEC**

En promedio, la equidad social avanza mejor en Jazz, ya que más personas son capaces de pagar por la energía, porque el mercado mundial conduce a un mayor crecimiento del PIB. La equidad social es menor en Sinfonía porque hay intervenciones que restringen el crecimiento del PIB, además los fondos dirigidos a las iniciativas de bajas emisiones de carbono causarán que se desvíen los fondos que deben atender otras prioridades del gobierno.

- **Mitigación del impacto ambiental**

El escenario Sinfonía tiene un buen desempeño en la mitigación del impacto ambiental, especialmente en las emisiones de CO₂, las cuales bajan después del año 2020, debido a que los países adoptan una serie de mecanismos para cumplir con los tratados internacionales sobre el carbono, de esta forma en este escenario el comercio de emisiones internacionales es el principal mecanismo de cumplimiento de las metas de emisión de CO₂.

En el escenario Jazz el resultado en este aspecto es menor, ya que las emisiones comienzan a disminuir considerablemente después de 2040. Esto es una consecuencia de que el precio global para el mercado de carbono, tiene un desarrollo más lento.

Síntesis de los escenarios del WEC

Colombia balancea adecuadamente dos dimensiones del índice de sostenibilidad energética: la seguridad energética (que tiene un comportamiento similar en los dos escenarios) y la mitigación del impacto ambiental (el cual tiene un mejor desempeño en Sinfonía), que se explica en el predominio de recursos en su canasta energética. Ver **Anexo 2 “Análisis del sistema energético y de las *Smart Grids* en Colombia”**.

Escenario Jazz y Sinfonía para las *Smart Grids* en Colombia

El proceso de construcción de escenarios energéticos es un ejercicio analítico, donde se diferencian cinco pasos principales (Shell, 2013):

- Definir el problema y su horizonte (***Smart Grids* en Colombia al año 2050**)
- Recopilar información y datos del pasado en el sistema bajo investigación y construir un sistema coherente que incluya toda la información pertinente, actores y agentes (**Anexo 2 Análisis del sistema energético y de las *Smart Grids* en Colombia**)

- Identificar los factores clave que podrían afectar las decisiones **(actores políticos y gubernamentales que podrían hacer que un escenario se centre en Jazz o en Sinfonía)**
- Priorizar los factores clave por orden de importancia para el éxito del tema focal **(Anexo 2 Análisis del sistema energético y de las *Smart Grids* en Colombia)**
- Concretar los escenarios en forma de narraciones coherentes o historias. **(Desarrollo a continuación)**

El WEC en sus mensajes claves informa que la complejidad energética del mundo en el 2050 crecerá considerablemente, en la gestión de esta complejidad los gobiernos juegan un papel crucial en la adopción y el establecimiento de marcos legales y regulatorios para que los mercados funcionen en ambos escenarios, de igual forma la industria y los mercados deberán ofrecer soluciones eficaces, localizadas sobre todo el sistema, desde el suministro a la demanda.

Escenario Jazz propuesto

El escenario Jazz para Colombia se vislumbra en dos partes: desde 2015 a 2030 y desde 2030 a 2050.

Colombia en este escenario se caracteriza por mejorar considerablemente en la equidad social, el acceso a la energía y un crecimiento económico acelerado.

En la primera etapa del escenario Jazz en Colombia, la actitud de las personas hacia los parques eólicos y otras tecnologías renovables, como la energía solar fotovoltaica y la biomasa, sigue siendo de prevención, debido a que el usuario comúnmente asocia el desarrollo de estos proyectos con el aumento de los precios de la electricidad.

En el lado de la demanda, los consumidores se mantienen pasivos en su participación en el sistema y no parecen estar interesados en obtener los beneficios adicionales de este. De igual forma, la medición inteligente que se comienza a desplegar en el país permite obtener pequeños ahorros en el sector residencial, este ahorro es muy limitado debido a que los subsidios cruzados no incentivan a que los usuarios hagan ahorros significativos y se preocupen por el consumo excesivo. Sin embargo, la industria se esfuerza por hacerse más competitiva implementando medidas de eficiencia y controlando su consumo a través de la gestión de los *Smart Meters*.

El gobierno se preocupa cada vez más por tomar acciones y por formular leyes para reducir el costo de la energía y que más personas puedan pagar por este recurso, lo cual a largo plazo se traduce en un crecimiento acelerado de la demanda, sin embargo, el proceso de interconexión con países de la región es más lento que en el escenario Sinfonía y con muchas barreras.

Las inversiones para atender la demanda se podrán realizar sin inconvenientes mayores, debido a que se cuenta con el capital y existen oportunidades para los mega proyectos con precios competitivos, adicionalmente se comenzarán a reemplazar las plantas viejas de gas y carbón, por plantas que usen estos mismos combustibles pero con mejores índices de eficiencia.

En esta época, la canasta energética de Colombia estará basada en un conjunto de grandes centrales hidroeléctricas y aparece un crecimiento acelerado plantas a gas y carbón, también se instalan algunos proyectos de fuentes de energía renovables de manera independiente, principalmente en generación eólica y parques fotovoltaicos pequeños y medianos. La mayor parte de la generación para abastecer la demanda continua siendo centralizada para los grandes centros de carga en las ciudades y grandes industrias.

Las subestaciones se comienzan a actualizar y modificar con tecnologías y medios tradicionales para manejar la demanda adicional que trae el mayor crecimiento económico, debido a que los costos de las soluciones inteligentes siguen siendo demasiado altos en la primera etapa del escenario.

Los vehículos eléctricos se comienzan a desplegar en algunas zonas urbanas de altos ingresos económicos, pero se presentan problemas en las redes de distribución que no están preparadas para este aumento de la demanda, y las inversiones en estas solo se realizan en función de las necesidades y sobre todo de la rentabilidad.

Los flujos de energía bidireccionales se sesgan a pequeños proyectos pilotos desarrollados por los operadores de red, pero su masificación es difícil y costosa debido a que la I+D es limitada.

En general, en la primera etapa de este escenario, la energía se continúa generando en grandes cantidades en lugares remotos, transmitido a nivel nacional y luego distribuido a los hogares y las empresas a través de las redes de distribución, con una imagen muy similar a la del sistema actual. El perfil de generación ha cambiado lentamente solo por la incorporación de gas a gran escala y pequeños centros con energías renovables.

En la segunda etapa del escenario, las compañías prestadoras del servicio de energía eléctrica, comienzan a observar mayor viabilidad en las inversiones de nuevas tecnologías, en vez de invertir en mejorar los equipos convencionales ya existentes.

Los operadores de red toman la iniciativa con la innovación, ya que ésta es necesaria para manejar la eleva demanda, especialmente en horas pico.

Los usuarios en los hogares permanecen aún pasivos en tomar medidas para controlar y reducir su consumo de energía. Sin embargo los consumidores adoptan nuevas tecnologías en sus hogares, pero lo hacen a manera de incorporación de nuevos “gadgets” y electrodomésticos inteligentes, debido a que tienen mayores ingresos y desean continuar con la vanguardia tecnológica. Estos equipos aportan medidas de eficiencia energética pero su gestión de manera coordinada no es la óptima.

De igual forma, los consumidores presentan desconfianza hacia los operadores de red, aspecto que no permite avanzar de manera significativa en los sistemas de gestión de la demanda.

Solo una pequeña cantidad de usuarios comienzan a participar activamente del sistema, debido a que los precios comienzan a estar disponibles en tiempo real, gracias al despliegue de medidores inteligentes en gran parte de la población. Los consumidores industriales y comerciales adoptan con entusiasmo los sistemas de medición avanzada, participan en contratos flexibles, nuevas estructuras tarifarias y medidas de eficiencia.

La inversión extranjera en el país es impulsada por el gobierno, por medio de leyes y normas que garanticen el retorno de las inversiones, como es el caso actualmente de la ley de Energías renovables. El gobierno también continúa con el apoyo para reducir la pobreza y la desigualdad, garantizando energía en las Zonas No Interconectadas, por medio de proyectos con energías verdes.

Los signos de una menor confiabilidad en el sistema y la posibilidad de cortes de energía debido a la creciente demanda, comienzan a generar mayor interés en las compañías prestadoras del servicio por tecnologías *Smart Grids* para el control y monitorización de la red.

El desarrollo de las tecnologías renovables con características distribuidas y en pequeña escala, significa que las empresas prestadoras del servicio comienzan a invertir en la red para permitir los flujos de potencia bidireccionales.

El crecimiento en el número de hogares que poseen y operan sistemas de micro generación, tecnologías de pequeña escala y de almacenamiento es importante en la

segunda etapa del escenario, en particular en las zonas urbanas (grandes ciudades) que utilizan vehículos eléctricos, sin embargo el petróleo se continúa utilizando como el principal combustible para el transporte a gran escala.

Este escenario en el país se caracteriza por realizar mayores exploraciones de combustibles fósiles para satisfacer la demanda creciente de igual forma impulsa la utilización de tecnologías de exploración no convencionales. El precio del petróleo es bajo en la primera etapa del escenario en el país, pero en la segunda tiene un crecimiento considerado debido a la fuerte demanda especialmente en el transporte.

La economía de los vehículos eléctricos ha ido mejorando poco a poco en las grandes ciudades del país, especialmente en los vecindarios con mayor poder adquisitivo y gracias a esfuerzos de empresas y universidades. De igual forma la red continua requiriendo refuerzos en lugares específicos para manejar los picos de carga, ya que el usuario aun no gestiona muy bien los recursos. También se debe resaltar que la mayor parte de los vehículos están equipados con un software que analiza la frecuencia y el voltaje de la red, o incluso se comunican automáticamente para evitar los picos de carga, pero como se mencionó, la mayoría de los propietarios anulan esta función porque no les interesa o porque no tienen el conocimiento.

Las baterías de los vehículos eléctricos juegan un papel fundamental para gestionar los picos de demanda y funcionar como sistemas de almacenamiento, sin embargo su utilización continúa siendo a pequeña en el país, debido a que aún no están desarrolladas para almacenamiento a gran escala por las limitaciones en I+D.

Una cantidad significativa de generación de electricidad a pequeña escala se comienza a generar en los hogares y en algunas comunidades, pero la generación centralizada todavía tiene un papel que desempeñar para satisfacer la demanda, especialmente en los centros urbanos y la industria.

De manera general, en este escenario se continúa con una respuesta limitada para utilizar los beneficios de la variación de los precios de la energía durante el día, ya que los incentivos siguen siendo insuficientes para cambiar el comportamiento del consumidor.

Aunque el usuario no es tan participativo como en el escenario Sinfonía, la incorporación de medidores inteligentes en los hogares permite modelar y conocer el sistema por medio de los datos obtenidos, lo cual ayuda a los operadores a gestionar mejor los recursos y a que se haga un mejor planeamiento año - año de las inversiones en generación, transmisión y distribución que se deben realizar, así como la gestión de activos.

Es de resaltar que en la primera y segunda parte del escenario, las estaciones de combustible como gasolina y diésel aún continúan partícipes y a gran escala en el mercado, ya que mucho porcentaje de la población continúa con vehículos de combustión interna.

Escenario Sinfonía propuesto

El escenario Sinfonía para Colombia se vislumbra al igual que el Jazz en dos partes: desde 2015 a 2030 y desde 2030 a 2050.

Este escenario en Colombia se caracteriza por apoyar la sostenibilidad ambiental y el desarrollo de políticas coordinadas internacionalmente.

Los contadores inteligentes se comienzan instalar a gran escala en los hogares; la fuerte demanda de los contadores crea un mercado para nuevos dispositivos con características más inteligentes y funcionales, los cuales son populares principalmente en los usuarios jóvenes.

Aunque los proveedores de energía instalan con éxito contadores inteligentes en todos los hogares e industrias, la confianza en las empresas es baja debido a que los precios siguen aumentando y a historias negativas sobre posibles infracciones y violaciones de privacidad. Pero inmediatamente se comienzan a tomar medidas para superar los inconvenientes con base en experiencias exitosas en otros países, (especialmente el tema de la confianza en el operador).

Las redes de comunicación comienzan a mejorar gradualmente a medida que se va presentando un mayor despliegue de *Smart Meters* y generación distribuida, para dar una mejor cobertura a los usuarios y que éstos se comiencen a enterar de los beneficios que el sistema les ofrece.

En la primer parte del escenario comienzan a aparecer problemas en las redes eléctricas por la intermitencia de las energías verdes, la cual se comienza a solucionar con la incorporación de tecnologías *Smart Grids*.

Los precios de la energía continúan en ascenso en este escenario, lo que ayuda a que se desarrollen medidas de eficiencia energética. De igual forma, desde la primera etapa del escenario se comienza a crecer el interés por la energía renovable producida en los hogares (donde el usuario participa como consumidor y generador de electricidad), así como por las medidas de eficiencia energética con el objetivo de seguir disfrutando de las comodidades en los hogares, pero reduciendo su consumo y la cantidad de dinero que se

paga por los servicios, de igual forma estas medidas ayudan al sistema de potencia a que no se deba recurrir a la construcción masiva de proyectos insostenibles ambientalmente.

Aunque la I + D continúa y se están haciendo mejoras, los costos de las tecnologías de almacenamiento siguen siendo considerablemente altos, teniendo presente que en la actualidad este tema está muy poco desarrollado en el país. Los precios no son competitivos hasta que se masifique con el paso de los años la implementación de vehículos eléctricos y generación distribuida.

La hidroelectricidad seguirá creciendo y con la ayuda de las plantas de gas constituye la generación base del sistema, ya que las centrales de carbón se comienzan a restringir o si se implementan deben incorporar tecnologías que reduzcan las emisiones de CO₂. De igual forma, la capacidad de generación eólica y fotovoltaica se eleva a un ritmo considerable por el fuerte apoyo del gobierno. Las interconexiones regionales permiten exportar los excedentes de energía, aprovechando que se cuenta con un mercado latinoamericano de energía firmemente integrado, que también ayuda a reforzar la seguridad del suministro de energía y gas.

Algunas regiones del país comienzan a generar con sistemas muy eficientes a partir de biomasa o biogás local, además se continúan fortaleciendo las redes para que tengan características bidireccionales, con el objetivo de que se obtengan beneficios reales de eficiencia y gestión en el sistema de potencia, como la precisión en la facturación, detección de conexiones fraudulentas, lectura automatizada, gestión de la demanda y control a distancia.

Estos servicios son bien recibidos por las personas en los hogares, lo que aumenta el conocimiento de los niveles de consumo y genera un creciente interés por adquirir y desarrollar electrodomésticos más eficientes e inteligentes.

El aumento de la cantidad de generación suministrada directamente en las redes de distribución, conlleva una reducción de transporte de potencia por el sistema de transmisión y algunas de las habilidades y conocimientos adquiridos en décadas anteriores, se han transferido a la distribución y a los sistemas de baja tensión.

Los operadores de red instalan regularmente sensores para mejorar la observabilidad de la red, y no sólo en los extremos de ésta, lo que les permite ir conformando más y más el desarrollo de una *Smart Grid* nacional.

La capacidad eólica y solar continúa creciendo y el gobierno otorga a las autoridades locales un mayor control sobre las cuestiones energéticas, para asegurar que los

beneficios de los proyectos de energías renovables fluyan sin inconvenientes en las comunidades, sin embargo se crean tensiones entre los ciudadanos y el gobierno por el creciente precio de la energía, por los costos involucrados para reducir las emisiones de CO₂.

Las personas en los hogares comprenden el uso de su energía y se genera un mayor interés en mejorar los sistemas de aire acondicionado, iluminación led y electrodomésticos que adecuen su consumo de acuerdo con las condiciones del mercado.

De manera general, en la primera etapa de este escenario, los contadores inteligentes se instalan con éxito y con un fuerte y creíble acompañamiento del público, a pesar de algunas historias de miedo de los medios. Las compañías se caracterizan por gestionar los flujos de datos de manera eficaz y segura por lo que el usuario no se preocupa por los riesgos de privacidad y concentra su atención en nuevas aplicaciones con el uso de las pantallas en el hogar, buscando potenciar al máximo el ahorro de energía, teniendo en cuenta su creciente costo.

La utilización de los vehículos eléctricos continúa creciendo en las ciudades pero se limitan principalmente en las grandes zonas urbanas, en tanto los vehículos de combustión interna siguen presentes a gran escala, pero utilizan cada vez más mezclas con biocombustibles para reducir el impacto ambiental.

En la segunda etapa del escenario, especialmente en sectores con altos ingresos, se comienza a adoptar a gran escala la generación distribuida a través de proyectos de la comunidad (micro redes), buscando reducir poco a poco la dependencia de la red eléctrica y de la volatilidad de los precios, ya que fenómenos como el niño o la niña crean grandes variaciones. La buena experiencia de ser menos dependientes de la red eléctrica atrae a más comunidades y a más proyectos, los cuales pueden funcionar de manera autónoma pero generan grandes beneficios al sistema como confiabilidad y seguridad.

Las reformas regulatorias resuelven rápidamente los problemas que se presentan de posesión y operación de los activos de las *Smart Grids* y se comienzan a desarrollar las tecnologías de almacenamiento a gran escala, especialmente las baterías de los vehículos eléctricos, para mayor gestión de la red. Este tipo de avances son fuertemente impulsados por el alto compromiso en impulsar la I+D.

Los propietarios de las viviendas comienzan a desempeñar un papel muy importante en el impulso de la eficiencia energética, así como en la instalación de sistemas fotovoltaicos y aerogeneradores, para actuar como prosumidores.

El crecimiento de los sistemas fotovoltaicos y eólicos en todas las regiones, impulsa mayores niveles de interconexión regional, proporcionando una fuente importante de flexibilidad. Además el comercio de emisiones de CO₂ juega un papel fundamental en esta etapa del escenario, siempre y cuando el precio del CO₂ sea lo suficientemente alto para que incentive emprender proyectos con base en los bonos de carbono.

Las centrales eléctricas a gas construidas durante la primera parte del escenario comenzarán a reemplazarse por nuevas centrales menos contaminantes, debido a las estrictas regulaciones ambientales. De igual forma, el Gobierno incentivará a seguir reduciendo las emisiones, ya que aunque el país no es gran emisor de gases de efecto invernadero, es altamente vulnerable a los cambios climáticos (ciclos hídricos), teniendo en cuenta que la canasta energética es predominantemente hídrica.

El crecimiento de los vehículos eléctricos provoca una mayor demanda energética, pero las redes son capaces de interactuar con los vehículos con el fin de suavizar los picos de carga, además la I + D es impulsada en las empresas con el fin de ser más competitivas.

Muchas de las zonas rurales del país, especialmente algunas Zonas No Interconectadas generan su electricidad a nivel local, esto tomará más tiempo en el escenario Sinfonía, en tanto que en el Jazz los mayores ingresos per cápita fomentan más el acceso a la energía, sin embargo, el gobierno apoya la sustitución del diésel en las Zonas no Interconectadas - ZNI por energías verdes con un mayor beneficio social y ambiental.

La generación distribuida es controlable con mayor facilidad y se reducen los problemas de estabilidad y frecuencia asociados a la micro generación, debido a que esta es una práctica común que se realiza en el país y ya se cuenta con el personal calificado para la operación y control.

Los usuarios en sus hogares generalmente actúan como “prosumidores” y pueden vender excedentes a la red, además las redes y los medidores inteligentes son capaces de ejercer medidas de control sobre electrodomésticos en los hogares de los clientes.

Las personas que crecieron con pantallas y medidores inteligentes en el hogar, comienzan ahora sus propias familias en esta etapa del escenario, de manera que para una significativa y la creciente proporción de la población, la eficiencia energética es una actividad normal y un factor importante a la hora de adquirir una casa.

Los equipos de vigilancia y automatización están ahora generalizados en la red de media y baja tensión, además incluyen tecnologías de *Smart Grids* en las subestaciones.

Las estaciones de gasolina aún continúan como participantes para cubrir la demanda de los vehículos convencionales (en una proporción menor que en el Jazz), pero se imponen regulaciones e impuestos, que buscan reducir el impacto ambiental e incentivar la transición de la flota del transporte a combustibles limpios.

En este escenario la demanda de electricidad podría reducirse debido a la utilización de nuevos aparatos y a la adopción masiva de prácticas de eficiencia y ahorro; pero al mismo tiempo, la demanda de electricidad podría crecer significativamente en el futuro por mayor utilización de electricidad para el transporte, refrigeración, calefacción y aire acondicionado. En esta segunda etapa del escenario se aprecia un movimiento radical lejos del funcionamiento histórico de la industria de la energía y una evolución hacia un sistema mucho más descentralizado, donde los consumidores contribuyen al desarrollo de los sistemas de potencia.

De acuerdo con los escenarios propuestos y las condiciones actuales del país en torno a los proyectos de *Smart Grids* (Anexo 2), se esperaría que en los escenarios Jazz y Sinfonía se incorporen muchas de las tecnologías que el día de hoy ya se han probado o se encuentran en proyectos pilotos como: Tecnificación de la Medida, Medición Inteligente, PMUs, WACS, Protocolos de Comunicaciones y de seguridad, Eficiencia energética, Energías Renovables, Iluminación LED, Micro redes, Subestaciones Inteligentes, FACTS, Vehículos Eléctricos, entre otros.

De igual forma, tomando como referencia el primer capítulo del presente proyecto de grado, temas como las energías renovables se encuentran en las incertidumbres críticas en los mapas temáticos del WEC y en los indicadores de referencia, mostrando que efectivamente son un tema de alta importancia para el sector, donde se concentran las miradas de los Líderes Energéticos Mundiales y son de vital importancia para las *Smart Grids*, ya que utilizar o no las energías verdes a gran escala va a definir dos mundos muy diferentes uno del otro.

El primer capítulo también ayudó a corroborar que temas de alta relevancia para las *Smart Grids* como: los biocombustibles, movilidad eléctrica, combustibles no convencionales, almacenamiento de energía y economía del hidrógeno tienen una posición muy similar en los dos mapas analizados, reiterando una vez más que no solo las opiniones de los líderes energéticos se ven en los mapas, sino que son un reflejo de lo que se está investigando, trabajando, patentando y buscando en la red, que va ayudar a definir el mundo del mañana.

En la Figura 18 se recrean los escenarios Jazz y Sinfonía para las *Smart Grids* en Colombia, donde se resaltan las dos etapas en que se construyeron (de 2015 a 2030 y de

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

2030 a 2050), así como los instrumentos y tecnologías característicos de cada uno de ellos.

De igual forma, en la gráfica se aprecia que los escenarios surgen de un triángulo con el vértice en la seguridad energética (la cual es balanceada de forma similar en los dos escenarios) y se bifurcan, de acuerdo con las características de los escenarios, en la parte del acceso a la energía (Jazz) y en la mitigación del impacto ambiental (Sinfonía), permitiendo relacionar una vez más el estudio del trilema energético del WEC con los escenarios a 2050 para el país.



Escenarios Energéticos para las Smart Grids en Colombia a 2050

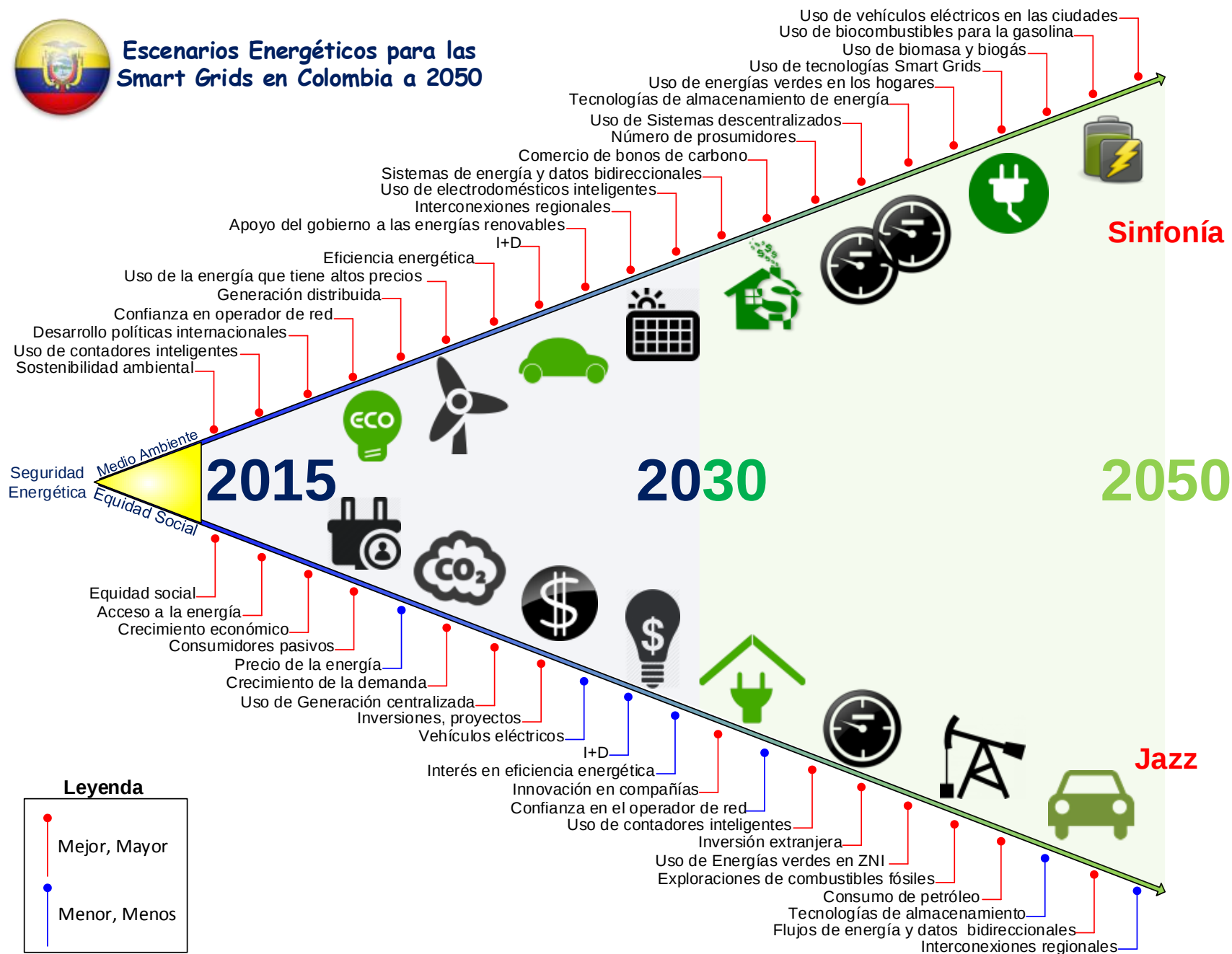


Figura 18 Escenarios Energéticos para las Smart Grids en Colombia al 2050 (elaboración propia)

CONCLUSIONES

Los escenarios propuestos para las *Smart Grids* en Colombia a 2050, permiten identificar a los principales impulsores para el desarrollo de las diferentes aplicaciones y tecnologías en el país, teniendo presente que las redes inteligentes pueden ayudar a solucionar inconvenientes actuales como reemplazar la infraestructura vieja, mejorar la gestión de activos, mejores ofertas de empleo, desarrollar la competencia en innovación en el servicio, entre otras.

De igual forma, los escenarios Jazz y Sinfonía propuestos son una poderosa herramienta para lograr una visión de largo plazo del desarrollo de las *Smart Grids* en Colombia, teniendo presente la gran incertidumbre y el impacto, debido a la diversidad de actores e intereses que intervienen.

Los escenarios ayudaron a identificar que la misma complejidad física e institucional del sistema de potencia colombiano, hace poco probable que el mercado por si solo implemente las *Smart Grids* en la escala necesaria, ya que los gobiernos, el sector privado, los consumidores y el medio ambiente deben trabajar juntos para definir las necesidades del sistema y las soluciones que sean necesarias implementar.

Los proyectos piloto son altamente necesarios para que se logre ver en el futuro la imagen de alguno de los escenarios propuestos. Debido a que se necesitan desarrollar tecnologías, soluciones y modelos de negocios de *Smart Grids* a pequeña escala, para luego replicarlas a las circunstancias específicas de cada población o empresa.

Se logró identificar en todos los escenarios consultados y propuestos el papel fundamental del usuario para lograr el desarrollo futuro de las *Smart Grids*, ya que muchos beneficios y desarrollos dependerán únicamente de la decisión de las personas, de participar o no participar.

El análisis y construcción de este trabajo permitió conocer que Colombia trabaja prácticamente en todos los eslabones de la cadena de las *Smart Grids*, pero de manera desarticulada. De igual forma, son muy importantes los esfuerzos que han realizado las empresas del sector eléctrico, pero aún son discretos, ya que aunque se dispone de leyes, decretos, resoluciones, estudios, desarrollo de proyectos pilotos, iniciativas y experiencias puntuales, no se dispone de lineamientos, estrategias, ni definición de criterios para establecer prioridades estratégicas para el país, lo que resalta una vez más la importancia y pertinencia de la construcción y análisis de los escenarios energéticos para Colombia.

Los indicadores de referencia de impacto e incertidumbre propuestos, son un gran aporte para el estudio de los mapas temáticos del WEC y para el Comité Colombiano del Consejo Mundial de Energía, ya que como su nombre lo indica, van a permitir ser una referencia y comparar o ratificar la posición específica de los temas en los mapas temáticos, debido a que se pueden realizar análisis detallados de porque se está presentando una variación en la posición de los mismos y a que factores se debe, de igual forma cuando se presenten coincidencias se va a poder concluir que el tema está siendo visto por los líderes y por el sector en una misma dirección.

De igual forma para el estudio del 2013, se logró observar que la mayoría de los temas conservan la misma posición en las dos metodologías, demostrando la relación de los pensamientos de los líderes energéticos con lo que está pasando en el mundo a nivel de interés y desarrollos. De igual forma ayuda a demostrar el buen acercamiento de la propuesta de los indicadores, ya que tienen presente la imagen visual del estudio, así como los nombres y la escala para ser comparados con mayor facilidad.

También se logró observar que temas como las energías renovables se encuentran en las incertidumbres críticas en los mapas temáticos del WEC y en los indicadores de referencia, mostrando que efectivamente son un tema de alta importancia para el sector, donde se concentran las miradas de los líderes energéticos mundiales y son de vital importancia para las *Smart Grids*, ya que utilizar o no las energías verdes a gran escala define dos mundos muy diferentes en cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

- Berger, C. (1975). *Infoamerica*. Recuperado el 10 de 5 de 2014, de <http://www.infoamerica.org/teoria/berger1.htm>
- Cruz, M. E. (2009). *Emulador eólico para generadores de baja potencia*.
- Díez, P. F. (2010). *Energía eólica*. Santander.
- Economics. (2012). *Economics*. Recuperado el 1 de 12 de 2013, de <http://economics.about.com/cs/businesscycles/a/depressions.htm>
- Empowerment, G. (2011). Simposio internacional de energía eólica de pequeña escala. Lima.
- Escenarios Energeticos. (s.f.). *Escenarios Energeticos*. Recuperado el 11 de 11 de 2013, de 2012: <http://escenariosenergeticos.cl/>
- European Commission. (2012). *European Commission*. Recuperado el 27 de 11 de 2013, de http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_en.pdf
- European Technology Platform. (2011). *European Technology Platform*. Recuperado el 2 de 12 de 2013, de <http://www.smartgrids.eu>
- Förster, H. (2012). *Smart Energy for Europe Platform*. Recuperado el 3 de 4 de 2014, de <http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/Briefing%20Metastudy%20energy%20scenarios.pdf>
- Fundacion Heinrich Boll. (2011). *Taller Ecologista*. Recuperado el 21 de 4 de 2014, de <http://tallerecologista.org.ar/menu/archivos/ecenariosenergeticosenamericadelsur.pdf>
- Fundacion Vida Silvestre Argentina. (2013). *WWF- Fundacion Vida Silvestre Argentina*. Recuperado el 2 de 5 de 2014, de http://awsassets.wwfar.panda.org/downloads/escenarios_energeticos_para_la_argentina_2013_2030_con_politicas_de_eficiencia.pdf
- Garcia, E. V. (2009). *Mejoras de tecnologías energéticas apropiadas en zonas rurales*. Barcelona.
- García, J. L. (2013). Trilema Energético del WEC. *Energía Bolivia*, 4-10.
- Giraldo, M. (2010). Small scale wind power harnessing in Colombian oil industry facilities. *Wind resource and technology issues*. Oslo.

- Global Wind Report. (2011). Annual market update . *Global Wind Energy Council*, 68.
- Google News. (2014). *Google News*. Recuperado el 20 de 03 de 2014, de http://news.google.com/intl/es_co/about_google_news.html
- Google Trends. (2014). *Google Trends*. Recuperado el 12 de 03 de 2014, de <http://www.google.es/trends/>
- International Energy Agency. (2013). *Deres.org.uy*. Recuperado el 3 de 02 de 2014, de http://www.deres.org.uy/practicass_pdf/cambio_climatico/Energy_to_2050.pdf
- Laexcelencia. (2010). *Laexcelencia*. Recuperado el 10 de 05 de 2014, de <http://www.laexcelencia.com/htm/articulos/autoestima/incertidumbre.htm>
- Latorre, F. J. (2010). Experiencia piloto de aprovechamiento de monieólica en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Menéndez, E. (2012). *Union General de Trabajadores España*. Recuperado el 20 de 4 de 2014, de <http://www.ugt.es/medioambiente/escenarios.pdf>
- Naranjo, C. (2011). *IEEE*. Recuperado el 11 de 11 de 2013, de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6083200&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F6073287%2F6083177%2F06083200.pdf%3Farnumber%3D6083200>
- Observatorio-tecnologico. (2008). *Observatorio-tecnologico*. Recuperado el 6 de 4 de 2013, de <http://observatorio-tecnologico.espacioblog.com/categoria/patentes-como-herramienta-la-vigilancia-tecnologica>
- Plataforma Escenarios Energéticos Chile 2030. (2013). *Escenariosenergeticos.cl*. Recuperado el 19 de 3 de 2014, de http://escenariosenergeticos.cl/wp-content/uploads/Escenarios_Energeticos_2013.pdf
- Real Academia de la Lengua Española. (1992). *Real Academia de la Lengua Española*. Recuperado el 10 de 05 de 2014, de www.rae.es
- retaguardia.org. (2012). *retaguardia.org*. Recuperado el 20 de 11 de 2013, de <http://www.retaguardia.org/2008/05/28/%C2%BFque-es-la-geropolitica/>
- Shell. (2013). *Shell*. Recuperado el 1 de 12 de 2013, de <http://www.shell.com/global/future-energy/scenarios/2050.html>
- Shell. (2013). *Shell*. Recuperado el 11 de 11 de 2013, de <http://www.shell.com/>

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050, Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

- Tonn, B. (2010). *Mdpi*. Recuperado el 25 de 3 de 2014, de <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/12/3650>
- UGT. (s.f.). *UGT*. Recuperado el 23 de 11 de 2013, de 2011:
<http://www.ugt.es/medioambiente/escenarios.pdf>
- UKERC. (2013). *UKERC*. Recuperado el 13 de 4 de 2014, de
<http://www.ukerc.ac.uk/support/Energy+2050+Overview>
- Universidad Carlos III de Madrid. (2013). *Universidad Carlos III de Madrid*. Recuperado el 2 de 12 de 2013, de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12120/PFC_Javier_Lorente_de_la_Rubia.pdf?sequence=1
- Wiernes, P. E. (2008). *Implementación y control con procesador digital de señales de un seguidor del punto de máxima potencia para un aerogenerador de velocidad variable*. San Juan.
- World Energy Council. (2013). *World Energy Council*. Recuperado el 4 de 12 de 2013, de <http://www.worldenergy.org/>
- World Energy Council. (2013). *World Energy Council*. Recuperado el 4 de 12 de 2013, de <http://www.worldenergy.org/publications/2013/world-energy-scenarios-composing-energy-futures-to-2050>

**ANEXO 1: PROPUESTA DE LOS INDICADORES DE REFERENCIA PARA EL
ESTUDIO DEL WEC ISSUES MAP MONITOR**

Escenarios energéticos a 2050 para las *Smart Grids* en Colombia basados en los estudios *WEC Energy Scenarios 2050*, *Energy Trilemma 2013* y *Issues Map Monitor 2013*

ANEXO 2: ANÁLISIS DEL SISTEMA ENERGÉTICO Y DE LAS *SMART GRIDS* EN COLOMBIA

ANEXO 3: ARTÍCULO PUBLICABLE

ANEXO 4: ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADO