

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

Daniel F. DÍAZ TORO

*Universidad Pontificia Bolivariana; Cir.1 #70-01, B11, Medellín, Colombia
diaztoro@gmail.com*

Resumen: En el trabajo de grado se desarrollaron los escenarios energéticos Jazz y Sinfonía para las *Smart Grids* en Colombia, con base los siguientes estudios del Consejo Mundial de Energía – WEC: Escenarios Energéticos a 2050, Trilema Energético y Mapas temáticos. Los escenarios propuestos reflejan las condiciones que favorecerían la incorporación de las redes inteligentes en Colombia en el año 2050. De igual forma, como contexto se presentan algunos escenarios energéticos desarrollados en el mundo, así como la propuesta de un indicador de impacto y otro de incertidumbre, que permitirá contrastar la opinión de los líderes energéticos mundiales en la encuesta WEC sobre temas de alta relevancia e incertidumbre para el sector energético global. *Copyright © 2014 UPB KOSMOS*

Abstract: In this degree thesis were developed the energy scenarios Jazz and Symphony for the Smart Grids in Colombia, based on the studies of the World Energy Council - WEC Energy Scenarios 2050, Energy Trilemma and Issues Map Monitor. These proposed scenarios seek to reflect national conditions that will help the incorporation of Smart Grid in 2050. Similarly, are presented some energy scenarios developed in the world, as well as an indicator of impact and other of uncertainty, to compare the opinion of the world energy leaders from some relevant issues for the sector.

Keywords: Smart Grids, World Energy Council, Energy Scenarios, World Energy leaders, Jazz, Symphony.

1. INTRODUCCIÓN

Son tiempos de grandes incertidumbres, sin precedentes para el sector energético. 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, latinoamérica y del mundo se encuentra en constante cambio, donde participan nuevos jugadores, nuevas tecnologías, nuevos inversionistas, entre otros. De igual manera, es importante e imperativo conocer algunos eventos que han implicado radicales cambios en el modo como se produce, consume y comercializa la energía. En este contexto es fundamental explorar 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.

De igual forma se presenta la propuesta metodológica para obtener dos indicadores para el estudio de los mapas temáticos del Consejo Mundial de Energía, para comparar la opinión de los líderes energéticos con respecto a un tema, con los indicadores de referencia creados a partir de noticias, patentes, tendencias de búsqueda y artículos.

2. INDICADORES DE REFERENCIA DE IMPACTO E INCERTIDUMBRE PARA EL MAPA TEMÁTICO DEL ESTUDIO DEL WEC ISSUES MAP MONITOR.

Para desarrollar adecuadamente el objetivo propuesto se partió de las siguientes definiciones de impacto e incertidumbre: la teoría de la reducción de la incertidumbre afirma que las personas tienen la necesidad de reducir la incertidumbre sobre los temas mediante la obtención de información sobre ellos. (Laexcelencia, 2010). Con base en esta tesis, para la elaboración del indicador de referencia de incertidumbre, se partió de la propuesta de que si se tienen valores muy bajos de patentes y publicaciones, entonces se tiene un grado de incertidumbre muy alto, porque no se sabe que va a pasar con el tema y apenas se encuentra en etapas tempranas de desarrollo, por otro lado, si el número de publicaciones científicas, artículos científicos 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 en este caso para el sector energético. 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.

Con base en lo anterior, se realizó una búsqueda exhaustiva de los 37 temas que conforman la encuesta temática del Consejo Mundial de Energía 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.

Después de que se consultaron estas 4 herramientas, se comenzó a trabajar en el procesamiento de la información, para la formulación de la propuesta de los indicadores de referencia. Se encontró que siempre se presentaba un pequeño número de temas con altos valores, lo que dificultaba realizar una comparación con los otros. Se observó en los resultados de las 4 herramientas que siempre existían de 3 a 5 temas que sobrepasaban en gran cantidad a los otros. De igual forma, los temas con valor reducido 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.

En la Figura 1 se aprecia el Diagrama de flujo para la construcción de los indicadores de referencia propuestos

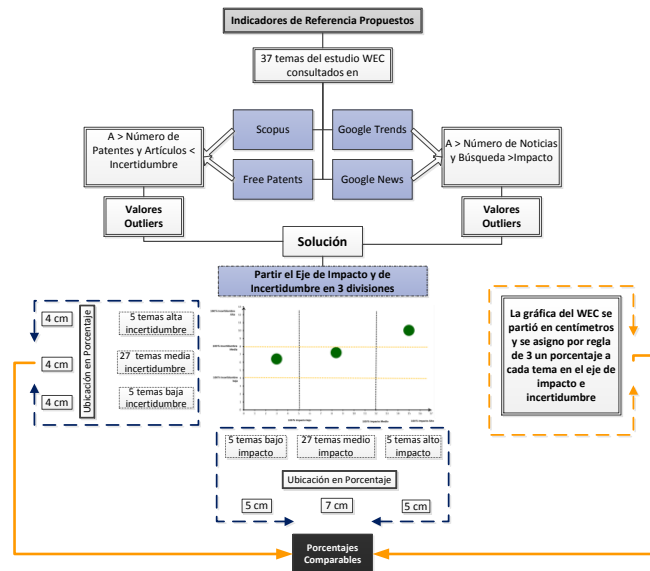


Figura 1. Diagrama de flujo para la construcción de los indicadores de referencia propuestos

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, lo que permitió generar la gráfica de los indicadores de referencia que se observa en la figura 2.

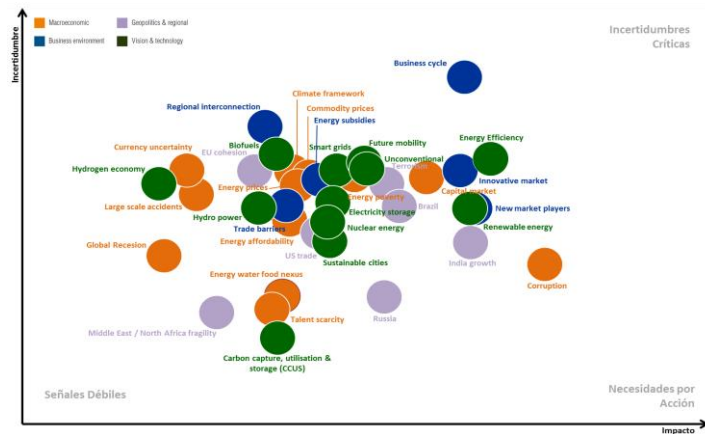


Figura 2. Mapa con Indicadores de Referencia Propuestos

Los indicadores de referencia propuestos, como su nombre lo indica son una referencia y van a permitir comparar o ratificar la posición específica de los temas en los dos mapas temáticos, debido a que se pueden realizar análisis detallados del porqué se está presentando una variación en la posición de los mismos los

factores influyentes. De igual forma cuando se presenten coincidencias en los resultados de las dos metodologías se va a poder concluir que el tema está siendo visto por los líderes y por el sector en una misma dirección.

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

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. (International Energy Agency, 2013)

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 conllevan por ejemplo diferentes consumos energéticos

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. (Shell, 2013)

Los Gobiernos e instituciones de gran nivel utilizan comúnmente este concepto para las estrategias de desarrollo sectoriales. Históricamente, los escenarios energéticos 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 útil 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. (European Technology Platform, 2011).

El detalle de los principales escenarios que aportaron para los escenarios de las *Smart Grids* en Colombia se describen en el capítulo 2 del trabajo de grado.

4. ESCENARIO JAZZ Y SINFONÍA PARA LAS *SMART GRIDS* EN COLOMBIA.

Este objetivo se realizó con base en tres importantes estudios del Consejo Mundial de Energía: *Energy Scenarios 2050*, *Energy trilemma* y *Issues Map Monitor*.

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 de Colombia del trabajo de grado)
- 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 de Colombia del trabajo de grado)
- Concretar los escenarios en forma de narraciones coherentes o historias. (Desarrollo a continuación)

Escenario Jazz propuesto para las *Smart Grids* en Colombia

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 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 los usuarios a obtener 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 garantizar 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 surgen muchas barreras.

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 atender los grandes centros de carga en las ciudades y grandes industrias.

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 éstas solo se realizan en función de las necesidades y sobre todo de la rentabilidad.

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.

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 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 eficiencia energética pero su gestión de manera coordinada no es la óptima.

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 así como exploraciones con tecnologías 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.

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 participes y a gran escala en el mercado, ya que mucho porcentaje de la población continúa con vehículos de combustión interna.

Escenario Sinfonía propuesto para las *Smart Grids* en Colombia

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.

Las redes de comunicación comienzan a mejorar gradualmente a medida que se va presentando un mayor despliegue de *Smart Meters* y de la 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.

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.

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.

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.

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 presenten 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.

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 seguirá 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.

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.

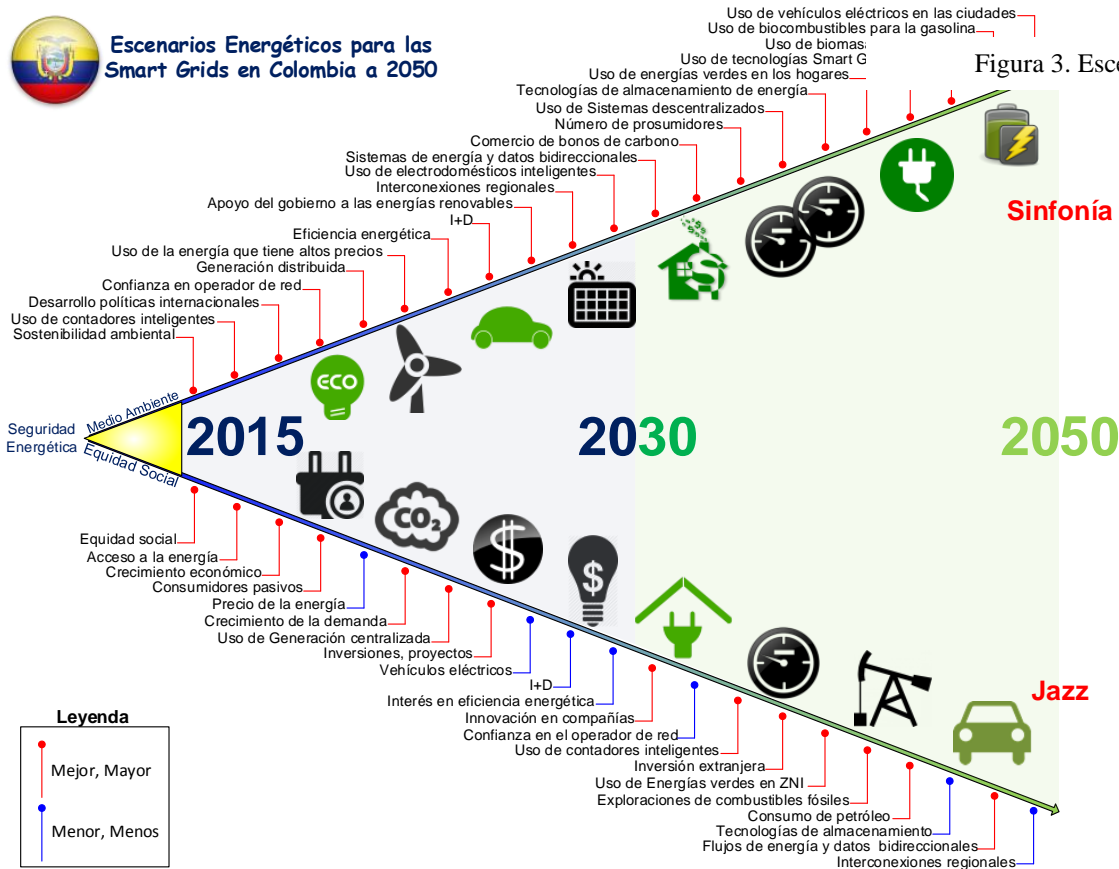
Las estaciones de gasolina aún continúan participando en el cubrimiento de la demanda de los vehículos convencionales (en una proporción menor que en el Jazz), pero se imponen regulaciones e impuestos, que buscan reducir el impacto

ambiental e incentivar la transición de la flota del transporte a combustibles limpios.

En 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.

En la figura 3 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 2030 a 2050), así como los instrumentos y tecnologías característicos de cada uno de ellos.

De igual forma, en la figura 3 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.



5. CONCLUSIONES

Modelar el futuro tiene que ver con preparar procesos sistemáticos y organizados de forma de decisiones. En este sentido, 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 visualizar en el futuro 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 tener una referencia y comparar o ratificar la posición específica de las variables temáticas en los dos mapas, 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.

AGRADECIMIENTO

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 y a José Vicente Camargo

REFERENCIAS

European Technology Platform. (2011). *European technology platform for the electricity networks of the future*. Recuperado el 12 de mar de 2014, de Smart Grids EU: <http://www.smartgrids.eu>

International Energy Agency. (2014). *Energy Scenarios*. Recuperado el 4 de abr de 2014, de International Energy Agency: <http://www.iea.org>

La Excelencia. (2010). *Definiciones Incertidumbre*. Recuperado el 5 de may de 2014, de la Excelencia - definiciones: <http://www.laexcelencia.com/htm/articulos/autoestima/incertidumbre.htm>

Real Academia de la Lengua española. (2014). *Definición de impacto*. Recuperado el 10 de may de 2014, de la RAE: www.rae.es

Shell. (2013). *Energy Scenarios Shell*. Recuperado el 1 de ene de 2014, de Royal Dutch Shell: <http://www.shell.com/global/futureenergy/scenarios/2050.html>

AUTOR

Daniel Felipe DÍAZ TORO. Ingeniero Electricista e Ingeniero Electrónico. Actualmente pertenece al programa de Futuros Líderes Energéticos del Consejo Mundial de Energía en el grupo de *Smart Grids*, es miembro del *Working Group* del Trilema de la Sostenibilidad Energética del WEC y labora en el Consejo Mundial de Energía Capítulo Colombiano. Adicionalmente sus tesis de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica estuvieron relacionadas con las *Smart Grids*.

