

# Context of the International Electricity Market: Case of Transformers in the United States

M. Rivera Anaya, M.C.<sup>1</sup>, E. Oliva López, Dr.<sup>2</sup>, J. R. Corona Armenta, Dr.<sup>3</sup>, F. A. Domínguez Pacheco, Dr.<sup>4</sup>, G. A. Rodríguez Castro, Dr.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Primero, Segundo, Cuarto y Quinto Autor del Instituto Politécnico Nacional, México, m.r283@yahoo.com.mx, eoliva@ipn.mx, fartur@hotmail.com, [garodriguezc@ipn.mx](mailto:garodriguezc@ipn.mx)

<sup>3</sup>Tercer Autor de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, jr corona@uaeh.edu.mx

**Abstract—** *The article presents a contextual research about global socioeconomic trends up to the year 2040 and its relation with the demand for Power Transformers. It is necessary to define the best market for transformer's manufacturers and their components installed in Mexico. The general methodology for the literary revision is described, as well as the general aspects of the transformer such as standards, prices, raw materials, manufacturing processes and suppliers. A report about the global scenario of energy sources is also included. This report is fundamental for managerial decision-making in the suppliermanufacturer-client chain. In a future publication, the critical raw materials of the transformer will be presented. Keywords- General context, electric sector, market, power transformers.*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.335>  
ISBN: 978-0-9993443-1-6  
ISSN: 2414-6390

# Contexto del Mercado Electrico Internacional: Caso Transformadores en Estados Unidos

M. Rivera Anaya, M.C.<sup>1</sup>, E. Oliva López, Dr.<sup>2</sup>, J. R. Corona Armenta, Dr.<sup>3</sup>, F. A. Domínguez Pacheco, Dr.<sup>4</sup> G. A. Rodríguez Castro, Dr.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Primer, Segundo, Cuarto y Quinto Autor del Instituto Politécnico Nacional, México, m.r283@yahoo.com.mx, eoliva@ipn.mx, fartur@hotmail.com, garodriguezc@ipn.mx

<sup>3</sup>Tercer Autor de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, jrcorona@uaeh.edu.mx

**Resumen**– El artículo presenta una investigación contextual de las tendencias socioeconómicas mundiales hasta el año 2040 y su relación con la demanda de Transformadores de Potencia. Es necesario definir el mercado más apropiado para los fabricantes de transformadores y sus componentes instalados en México. Se describe la metodología general para la revisión literaria, así como los aspectos generales del transformador tales como: normas, precios, materiales, proceso de fabricación y proveedores. También se reporta el escenario global de las fuentes de energía, que es fundamental para la toma de decisiones gerenciales en la cadena proveedor - fabricante - cliente. En una publicación futura, se presentará lo concerniente a materiales críticos del transformador.

**Palabras Clave** — Contexto general, sector eléctrico, mercado, transformadores de potencia.

**Abstract**- The article presents a contextual research about global socioeconomic trends up to the year 2040 and its relation with the demand for Power Transformers. It is necessary to define the best market for transformer's manufacturers and their components installed in Mexico. The general methodology for the literary revision is described, as well as the general aspects of the transformer such as standards, prices, raw materials, manufacturing processes and suppliers. A report about the global scenario of energy sources is also included. This report is fundamental for managerial decision-making in the supplier-manufacturer-client chain. In a future publication, the critical raw materials of the transformer will be presented.

**Keywords** - General context, electric sector, market, power transformers.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas del mercado eléctrico se encuentran ante un ambiente altamente competitivo, por lo que es necesario el conocimiento del entorno socioeconómico relacionado con la captura, almacenamiento y distribución de energía eléctrica, lo que les permite desarrollar las estrategias adecuadas que contribuyen a mitigar las consecuencias que pueden traer el continuo cambio dinámico y lograr mayor eficiencia y menores costos en sus productos.

Se presenta en el artículo, el avance logrado para el desarrollo de un modelo de optimización para el proceso de diseño en los Transformadores de Potencia y Media Potencia, para organizaciones fabricantes establecidas en México y que

contemplan dentro de sus estrategias de venta, la exportación de este tipo de producto o sus componentes. El modelo incluirá cinco etapas principales:

1. Definición tendencias socioeconómicas hasta 2040 y el mercado meta.
2. Conocer a quienes desarrollen investigación relacionada con Transformadores de Potencia y Media Potencia.
3. Identificar los modelos apropiados a utilizar.
4. Elaboración de un modelo.
5. Validación del modelo.

El alcance del presente artículo se refiere al punto uno “Definición tendencias socioeconómicas hasta 2040 y el mercado meta”, dentro del cual se encuentra la conceptualización de las tendencias socioeconómicas mundiales y su relación con la demanda del mercado de transformadores, información que es relevante para una pertinente toma de decisiones de la alta gerencia en empresas fabricantes de Transformadores de Potencia y sus componentes, con el apoyo de la revisión de literatura y experiencia del autor en el campo.

En la metodología general de búsqueda, se consultaron páginas como: Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (CONRICyt), SPRINGER, IEEE Xplore Digital Library, Electric Power Research, Taylor and Francis, Scopus, ScienceDirect, además de reportes de organizaciones como International Energy Agency, OCDE, U.S. Department of Energy., National Intelligence Council, The World Economic Forum, y de México la Secretaría de Energía y Comisión Federal de Electricidad. Siendo un total de 26 documentos seleccionados, los cuales se clasifican en Reportes 46%, Artículos 34%, Normas 15% y Congresos 5%. Las referencias presentadas se agrupan de acuerdo con su enfoque metodológico.

## II. EL TRANSFORMADOR

El transformador ANSI/IEEE [1] lo define como “un dispositivo eléctrico estático que consiste en un devanado, o dos o más devanados acoplados, con o sin un núcleo

magnético, para introducir el acoplamiento mutuo entre los circuitos eléctricos. Los transformadores se usan ampliamente en sistemas de energía eléctrica para transferir energía por inducción electromagnética entre circuitos a la misma frecuencia, generalmente con valores modificados de voltaje y corriente”, adicionalmente define al Transformador de Potencia (TP) como “un transformador que transfiere energía eléctrica en cualquier parte del circuito entre el generador y los circuitos primarios de distribución”; por otra parte el Departamento de Energía de Estados Unidos (DEEU) [2], considera que el término TP es utilizado para describir un transformador con una potencia máxima de 100 megavoltios-amperios (MVA) o superior a menos que se indique lo contrario.

#### A. Características Generales

Hobday [3], considera al Sistema Eléctrico y sus componentes como un producto complejo, entre las características del TP sobresalen “costos elevados, productos personalizados, la dinámica de la innovación y la naturaleza de la coordinación industrial pueden diferir de otro tipo de productos especialmente los básicos de bajo costo, producidos en masa, basados en componentes estándar” [3], se entregan pequeños números de productos individualizados a cada cliente y, en consecuencia, el diseño genérico subyacente de cada familia se revisa continuamente durante la entrega de los productos, como lo indica Vedman [4], otras características como su eficiencia y confiabilidad, Romero [5] considera que son determinadas por las bajas tasas de degradación y diseños que garantizan una larga vida en operación normal de más de 40 años lo colocan como un activo físico.

#### B. Normas

Las normas estándar principales son emitidas básicamente por tres instituciones, Amoiralis [6] considera: ANSI/IEEE, CENELEC e IEC.

ANSI/IEEE (American National Standards Institute/ Institute of Electrical and Electronics Engineers), sus normas son preparadas y emitidas en Estados Unidos por las Sociedades IEEE.

CENELEC (en francés Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), son normas internacionales preparadas por grupos de trabajo y aprobadas mediante votación ponderada entre países miembros de la Unión Europea (UE) y otros países incluidos en el Acuerdo del Espacio Económico Europeo.

IEC (International Electrotechnical Commission), fue fundado oficialmente en 1906 en Londres. El uso de las

normas IEC es asunto voluntario. El comité técnico número 14 (TC14) es quien se ocupa de los transformadores de potencia.

En México además de la ANSI/IEEE, son consideradas la Norma Mexicana ANCE Transformadores y Autotransformadores de Potencia - Especificaciones NMX-J-284-2012 [7] y las emitidas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Transformadores de Potencia de 10 MVA y mayores, especificación K0000-06 [8] y Transformadores y Autotransformadores de Potencia para subestaciones de distribución K0000-13 [9].

#### C. Tipos de Transformadores

Pueden ser clasificados según su aplicación, Amoiralis [6], considera que “aquellos conectados directamente al generador de una estación de energía se llaman transformadores de generador y su rango de potencia es mayor a 100 MVA, además su rango de voltaje se extiende aproximadamente 1500 kilovoltios (kV)”; a los instalados entre los diferentes niveles del sistema de alta tensión, son denominados principalmente como autotransformadores (aquellos en los que el bobinado primario y secundario de cada fase tienen una sección común). Su rango de potencia excede 1000 MVA y su rango de voltaje excede 1500 kV.

La clasificación utilizada por el DEEU [2] consiste en tres clases, Medio Voltaje, Alto Voltaje y Extra Alto Voltaje, los cuales a su vez, son subdivididos en las siguientes categorías según su rango de voltaje: Medio Voltaje de 34.5 a 115 kV, Alto Voltaje, 115 a 230 kV y Extra Alto Voltaje 345 a 765 (kV).

#### D. Precios

Los costos y precios de un TP, considerados por el DEEU [2], tienen un rango estimado de entre \$1 millón a 2.5 millones de dólares, para un TP Generador con capacidad de 75 a 300 MVA y Clase de Tensión de 115-345 kV; y de \$2 a 4 millones para un TP de Transmisión de 300 – 500 MVA y Clase de Tensión 230-345 kV, incluso uno de 750 MVA y Clase de Tensión 765 kV podría llegar a \$7.5 millones de dólares, dichos precios dependen de factores como las condiciones y ubicación de las instalaciones del fabricante, el mercado, y las materias prima utilizadas, sin considerar el incremento aproximado del 25 al 30 por ciento de su costo total para aspectos como el transporte, instalación y otros gastos relacionados.

## E. Materiales

La Figura 1, ejemplifica un TP con algunos de componentes, entre los que se consideran materias prima críticas como acero al silicio, conductores de cobre, hierro, aceite y aislamientos, los cuales representan entre un 57 y 67 por ciento del costo total del transformador.

El acero al silicio es producido en diferentes niveles de permeabilidad magnética: convencional y de alta permeabilidad en varios grados desde M-2 hasta M-6. La lista de países productores es encabezada por China con el 35%, Estados Unidos y Japón con el 14% cada uno, Rusia con el 12%, Corea del Sur, Alemania, Francia e India con el 8% respectivamente, Brasil y República Checa con el 4% y Reino Unido con el 3% y Polonia con el 2% la Tabla I muestra la relación país y compañía productora considerados por DEEU [2].

Sin embargo de la lista de productores principales, sobresalen como grandes exportadores de acero al silicio, Japón con 27%, Rusia 15%, Corea 10%, Estados Unidos 8%, Alemania 6%, Francia 6%, Polonia 5%, y otros países con el 22%, exportando en 2012 un total de 1.5 millones de toneladas [2]. Finalmente empresas como JFE Steel Corporation, Nippon Steel, ArcelorMittal, y Baosteel Group se encuentran consideradas dentro de las 10 compañías líderes en producción mundial de diversos tipos de acero [10].

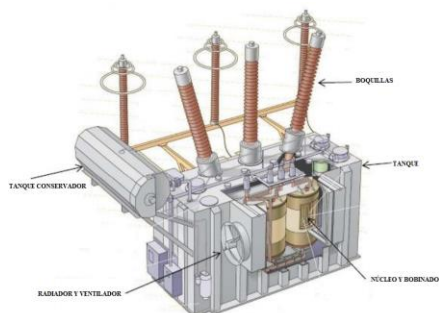


Fig. 1 Transformador de potencia tipo núcleo que muestra los principales componentes internos [2].

Algunos fabricantes de materia prima crítica pueden considerarse para los aislamientos, cambiador de derivaciones bajo carga y aceite/aislamientos líquidos según la Tabla II.

TABLA I  
PAISES PRODUCTORES Y FABRICANTES MUNDIALES DE ACERO AL SILICIO

País	Nombre de la Compañía
China	Boosteel Group Corporation
	Wuhan Iron and Steel Company (WISCO)
	ArcelorMittal y Hunan Valin Steel Group
	Angang Steel
Estados Unidos	Allegheny Ludlum (ATI)
	AK Steel
Japón	JFE Steel Cooperation
	Nippon Steel Corporation (NSC)
Rusia	Novolipetsk Steel (NLMK)
Corea del Sur	The Pohang Iron y Steel Company (POSCO)
Alemania, Francia e India	Thyssen Krupp Electrical Steel (TKS)
Brasil y República Checa	ArcelorMittal
Reino Unido	Orb (Tata Steel, Cogent Power)
Polonia	Stalprodukt S.A.

TABLA II  
PRODUCTORES Y FABRICANTES MUNDIALES DE ALGUNOS MATERIALES Y COMPONENTES CRÍTICOS

Materia prima	Fabricante	País
Aislamientos	EHV Weidmann	Estados Unidos
Cambiadores de derivaciones bajo carga	MR	Alemania
Aceite/Aislantes líquidos	Dow Corning	Estados Unidos
	Ninas	Estados Unidos

## F. Tiempo de Entrega

El tiempo de entrega promedio para el suministro de un TP en su mismo país es aproximadamente de cinco hasta 12 meses, y para transformadores de exportación de seis a 16 meses, este tiempo incluye desde la orden emitida por el cliente hasta la fecha de entrega del producto. [2, 11], gran parte de este tiempo depende de la entrega de las materias prima críticas a los productores, ya que las boquillas, el cambiador de derivaciones y algunos accesorios requieren de una elaboración con especificaciones especiales.

## G. Proceso General de Fabricación

El proceso general de fabricación del TP, DEEU [2] considera siete grandes pasos: Ingeniería y diseño, Construcción del núcleo, Bobinados, Operación de secado, Tanque, Ensamble final y Pruebas, además pueden ser consideradas tres grandes etapas de gestión relacionadas con la Identificación de las Necesidades, la Compra de los materiales, además del Transporte e instalación, las variaciones dentro de cada uno de están sujetas a las Normas Estándar Internacionales y a las Especificaciones Especiales de los Clientes; para los fines de la investigación que se está realizando, solamente se hará mención de los tres primeros pasos contemplados en la Figura 2

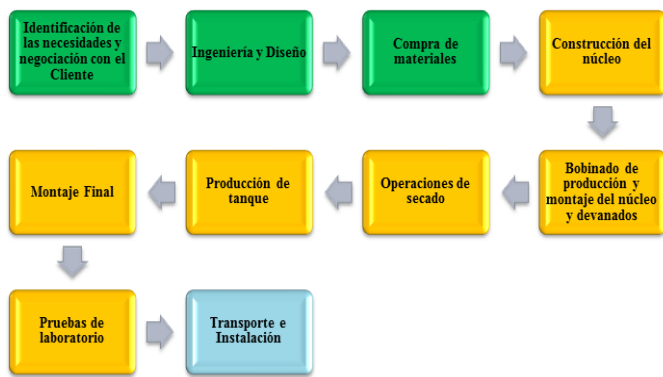


Fig. 2 Proceso General de Fabricación.

Identificación de las necesidades y negociación con los clientes: Consiste en conocer los requerimientos del cliente, realizar cotizaciones, determinar las normas y especificaciones especiales del cliente; estas últimas son el resultado de sus requerimientos particulares como consumidores, por lo que es necesario proporcionar al cliente la mayor información posible, y con ello pueda elegir la opción más racional entre las diversas alternativas que le ofrece la empresa, como es considerado por Forza & Salvador [12], para reducir la gran variación en la fabricación de los productos ya que como consecuencia de un gran número de variaciones, la errónea interpretación de la información puede provocar problemas, tales como retraso en los diseños, compra de materiales erróneos o fuera de especificaciones, retrasos en la manufactura y hasta multas por entregas fuera de tiempo.

Ingeniería y Diseño: DEEU lo considera como la ejecución equilibrada las normas y especificaciones, los costos de las materias primas (cobre, acero y aceite refrigerante), las pérdidas eléctricas, las horas de fabricación de mano de obra, las restricciones de capacidad de la planta y las limitaciones de envío [2], en diferentes etapas como son el diseño eléctrico, mecánico, tanque, accesorios, embalaje y emisión de la lista de materias prima críticas.

Compra de materiales: Se refiere a la cotización, conocimiento y adquisición de las materias prima utilizadas en todo el proceso de fabricación del TP, particularmente esta actividad debe realizarse en conjunto con los diseñadores de los TP y los vendedores del producto, lo que se traducirá en un mejor control del proceso y minimización técnica de los riesgos en el proyecto, como lo menciona Perin [13].

#### H. Algunas tendencias en transformadores

Existe una inmensa gama de investigaciones realizadas para mejorar la eficiencia de los transformadores, resultado del desarrollo tecnológico en el sistema eléctrico, por lo que autores como Olivares, Venegas & Magdalena [14],

mencionan que el desarrollo en materiales y bobinas permitirán el aumento de la eficiencia en los equipos y la minimización de su tamaño.

Por otra parte Amoiralis [6], indica que el mayor desarrollo se registra en materiales, sistemas de aislamiento, accesorios y técnicas de diagnóstico, proporcionando una serie de recomendaciones para quienes estén interesados en profundizar en ese tipo de investigación como son la reducción de pérdidas del núcleo, reducción de la cantidad de los materiales de bobinado y pérdidas, mayor capacidad de sobrecarga, en el sistema de aislamiento sobresalen los intentos por mejorar las propiedades del aceite mineral o para encontrar otros líquidos sustitutos.

En lo que se refiere a diagnóstico y monitoreo de los transformadores Amoiralis [6], indica que las redes neuronales se encuentran en la mayoría de las investigaciones relacionadas con el diagnóstico de fallas, y otras más consideran los aspectos técnicos y estratégicos del sistema de energía [5].

### III. TENDENCIAS SOCIOECONÓMICAS GLOBALES

Actualmente el mundo se encuentra experimentando una serie de cambios dinámicos, World Economic Forum (WEF) [15] considera, una serie de tendencias socioeconómicas en diversos sectores, como el social, económico, político, ambiental y tecnológico.

Dentro de los cambios dinámicos, puede incluirse el comportamiento de las inversiones y la producción de bienes, servicios y otros productos en todo el mundo, los cuales mantuvieron un aumento desde el año 2000 hasta 2008, cuando se sufrió una fragmentación global a excepción de las economías emergentes como China, indicado por Timmer [16].

Otros cambios a incluirse son la demanda, los materiales, las normas y las especificaciones especiales; el conocimiento de los mismos, permite mejorar la visión de los administradores de las organizaciones al realizar una toma de decisiones adecuada para sus procesos internos, “lo que puede mejorar su competitividad desde que la alta calidad, la reducción de costos y los procesos son la llave de supervivencia dentro de una economía global” [17]. Figura 3.

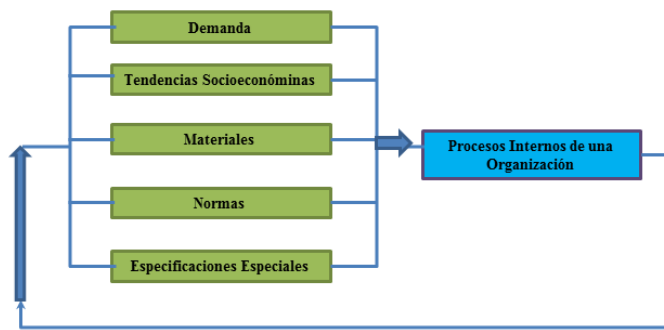


Fig. 3 Interacción del Entorno y los procesos internos de una organización.

Una de las tendencias que impacta de manera importante los diversos sectores es el crecimiento poblacional y la migración, ya que el mundo tiene aproximadamente de 7.300 millones de habitantes, y según proyecciones de las Naciones Unidas (UN) [18] alcanzará los 8.500 millones en 2030 y los 9.700 millones en 2050, para el caso de América del Norte su población aumentará a 396 millones a 2030 y 433 mil a 2050, todo ello traducido en un importante requerimiento del recurso eléctrico, alimentos y otras necesidades básicas, sin dejar de considerar el pronóstico del Consejo Nacional de Inteligencia (CNI) [19] sobre el envejecimiento promedio de 41 años para el 2035.

Las tendencias tecnológicas impactan en diversos sectores, como es el Sector Eléctrico en su ciclo continuo de Electrificación, Descentralización y Digitalización; abriendo paso a la Era de la Red Tecnológica generando con ello investigación y productos como: vehículos eléctricos, vehículos a la red/hogar, carga inteligente, bombas de calor, eficiencia energética en PV solares, almacenamiento distribuido, microgrids, tecnologías de red (medición inteligente, control remoto y sistemas de automatización, sensores inteligentes) además de plataformas de optimización y agregación, aparatos y dispositivos inteligentes, entre otros considerados por WEF [20, 21]. Las características de estos productos son dictadas por las preferencias de los consumidores quienes modifican las fronteras tradicionales entre productores, distribuidores y clientes con menores emisiones de carbono, mayor elección, interacción y comunicación en tiempo real, conexión permanente, mayor transparencia, experiencias, fiabilidad y seguridad [21].

El desarrollo en los avances tecnológicos no está separado de las consideraciones y reglamentaciones del país donde se pretenda incursionar, pueden ser tomados como ejemplo países como Suiza, Noruega, Suecia, Dinamarca, Francia, Australia, España, Colombia, Nueva Zelanda y Uruguay, los cuales cuentan con las mejores condiciones de sustentabilidad para la generación de energía eléctrica, indicados por WEF [22], el desempeño de sus sistemas energéticos, se pueden considerar para la realización de políticas de energía y de los productos comercializados en el sector eléctrico. Por otra parte en otro de sus estudios WEF

[16], consideró a México y Estados Unidos en los lugares 44 y 52 respectivamente en la escala de sustentabilidad.

#### IV. ESCENARIO GLOBAL DE LA ENERGÍA

La energía es uno de los recursos más importantes en el mundo, su consumo va en aumento debido a tendencias como el crecimiento poblacional y el desarrollo. El consumo mundial de energía por tipo de combustible proyectado al año 2040 va en aumento, la International Energy Agency (IEA) reporta un aumento en las próximas dos décadas, siendo los de mayor incremento los países fuera de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) particularmente en Asia. Los países que no pertenecen a la OCDE de Asia, incluidos China y la India, representan más de la mitad del aumento total mundial del consumo de energía durante el período de proyección de 2012 a 2040. Para 2040, el uso de energía en países no pertenecientes a la OCDE en Asia excederá al de toda la OCDE en 40 cuatrillones de Unidades Térmicas Británicas (Btu) Figura 4 [23].

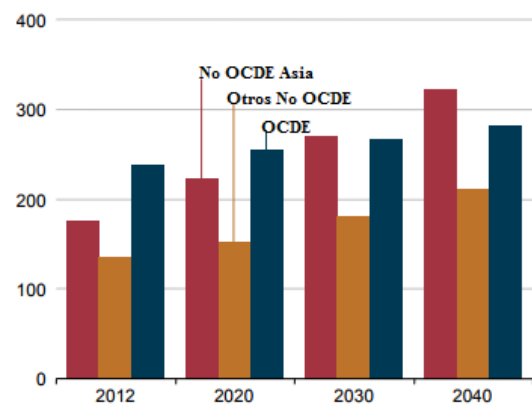


Fig. 4 Consumo mundial de energía por grupo de países, 2012-40 (cuatrillón Btu) [23]

Asimismo la IEO proyecta un aumento en el consumo mundial de energía comercializada de todas las fuentes de combustible hasta el año 2040, Figura 5; en donde las energías renovables son la fuente de energía de mayor crecimiento en el mundo durante el período de proyección, ya que el consumo de energía renovable está aumentando en un promedio de 2.6% / año entre 2012 y 2040; la energía nuclear es la segunda fuente de energía de más rápido crecimiento en el mundo, con un consumo que aumenta en 2.3% / año durante el período analizado.

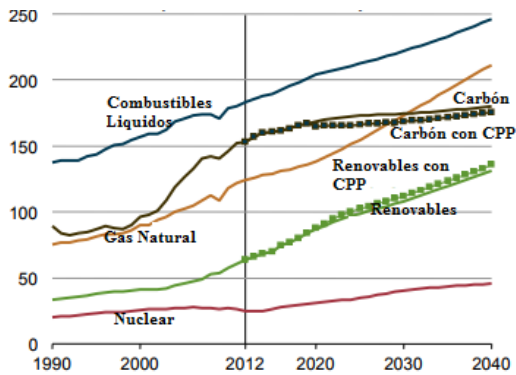


Fig. 5 Consumo de energía mundial total por fuente de energía, 1990-2040 (cuatrillón Btu) [23]

Por otro lado la Figura 6 muestra el escenario global de generación por fuente, en 2008 se consideró que “alrededor del 84% de la energía total en el mundo es generada por combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), 3% de plantas nucleares y el 13% restante proviene de fuentes renovables, como energía hidráulica, eólica, solar, biocombustibles, geotérmica, de olas y mareomotriz” [24].

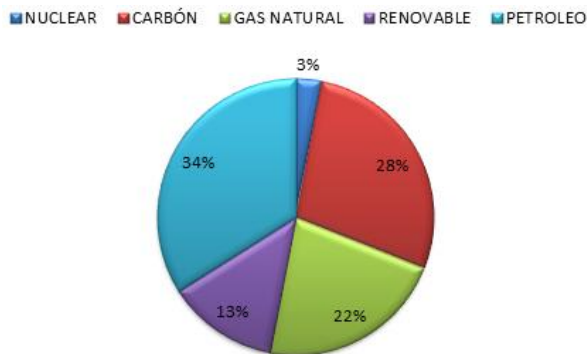


Fig. 6 Generación de energía global [24]

El sector de energía eléctrica permanece como una de las áreas de mayor crecimiento de los mercados de energía. La generación eléctrica neta mundial aumenta en un 69%, de 21,6 billones de kilovatios-hora (kWh) en 2012 a 25,8 billones de kWh en 2020 y 36,5 billones de kWh en 2040 [23]; su mayor crecimiento en generación se pronostica entre los países en desarrollo que No pertenecen a la OCDE; con un promedio de 2.5% anual entre 2012 y 2040, debido al incremento en el nivel de vida, lo que aumenta la demanda de electrodomésticos y dispositivos electrónicos, así como también servicios comerciales, incluyendo hospitales, escuelas, edificios de oficinas y centros comerciales. En los países de la OCDE, donde las infraestructuras son más maduras y el crecimiento de la población es más lento, la generación de energía eléctrica aumenta en un promedio de 1.2% / año de 2012 a 2040 [23]. El mayor crecimiento se prevé para China y el Resto de los países No OCDE como se muestra en la Figura 7, el porcentaje de capacidad

corresponde para China 27%, Estados Unidos 16%, Resto de países en OCDE en 31% y el Resto No OCDE en 31%.

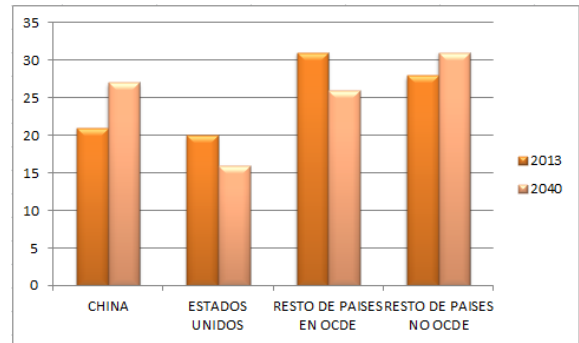


Fig. 7 Capacidad global de generación de energía instalada (Porcentaje global) [23].

### V. DEMANDA DE TRANSFORMADORES

Debido al incremento en la demanda de energía eléctrica a nivel mundial, los países con mayor expectativa de crecimiento como China y Estados Unidos, requieren de una alta inversión en su infraestructura que garantice la eficiencia en su red al menor costo posible, lo que incluye la compra y renovación de los componentes.

Se estima que China estará superando su capacidad con respecto de a la de Estados Unidos y tendrá una cuarta parte de la capacidad total mundial de 8.254 GW [2]; sin embargo es pronosticado que entre China e India, se constituirá casi el 40% de la capacidad mundial entre 2013 y 2035 seguido de la Unión Europea y Estados Unidos como se muestra en la Figura 8.

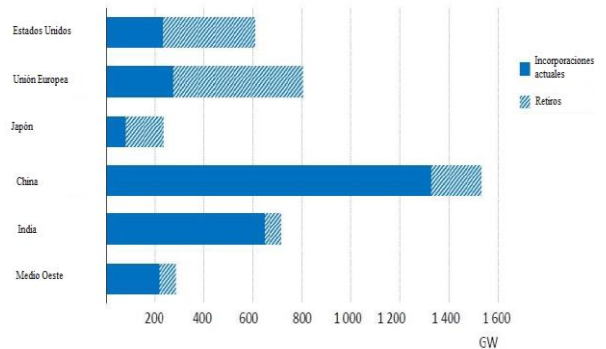


Fig. 8 Capacidad instalada actual y retiro [2]

Este crecimiento impacta directamente en términos de generación de capacidad en Gigawatts en los requerimientos de equipos que demandan las Energías Renovables consideradas por la IEO (2013) entre 2014 hasta 2020.

Dada la expectativa de crecimiento entre China y Estados Unidos, es importante conocer en qué medida su capacidad de fabricación cubre su autoconsumo, por lo que DEEU [2] estima que los productores de China cubren el 78% de la

demanda mientras que en Estados Unidos solamente se cubre cerca del 16%.

#### A. Estados Unidos

Es un país con una importante capacidad eléctrica a nivel mundial, con un total de 1,065.1 GW en 2013. De esta capacidad, el 73.9% corresponde a los combustibles fósiles, mientras que de las fuentes limpias se destaca la participación de la energía nuclear y la hidroeléctrica con el 9.3% y 9.5% respectivamente [15]

Se estima un consumo de 3,782, 151 GWh, siendo el consumo principal el Residencial con el 36.8%, seguido de Comercial y Servicios con el 35.4%, Industrial 22.4%, Agropecuario 0.8%, Transporte 0.2% y Otros Sectores 4.5% [25] en el horizonte 2015-2029.

El sector de la electricidad representa alrededor de \$210 mil millones de dólares de ventas anuales, casi \$40 mil millones de dólares en inversión anual y el 35% del uso de energía primaria [26], debido a que su capacidad de fabricación para autoconsumo es mucho menor a los requerimientos demandados, necesita de importaciones que ascienden a \$735 millones de dólares [2]. Por lo que necesita realizar una selección de proveedores globales que contribuyan a satisfacer su demanda, en la Tabla III se muestran a los proveedores de transformadores de potencia y los países entre 2011 y 2013; empresas en México que ya tenían presencia dentro del mercado estadounidense como Prolec en Nuevo León y Voltran Transformadores en Hidalgo, han realizado alianzas estratégicas con empresas transnacionales como GE y WEG respectivamente, para mejorar su competitividad, logística y tiempos de entrega de los TP en Estados Unidos y otros países.

TABLA III  
PAISES Y PROVEEDORES MUNDIALES DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA EN ESTADOS UNIDOS

País	Proveedor	Porcentaje
Corea del Sur	HHI, HICO	28%
Austria	SIEMENS	15%
México	GE/PROLEC, IEM, SIEMENS, WEG	13%
Canadá	ABB, CG	12%
Países Bajos	SMIT	12%
Brasil	ABB, SIEMENS	7%
Alemania	ABB	2%

#### VI. TRABAJOS FUTUROS

Realizada la investigación contextual, se encontró que en los reportes con información oficial de libre acceso, concierne

a los materiales críticos para la manufactura de transformadores de potencia, solamente fueron considerados el acero al silicio y conductores de cobre, sin embargo, de este último no son publicados los fabricantes y exportadores globales principales; así como tampoco del aceite aislante, aislamientos, boquillas, ventiladores, radiadores y cambiadores bajo carga.

Con relación al proceso general de fabricación, el DEEU [2], únicamente ofrece información general en su manufactura, por lo que se requiere, de la realización de estudios relacionados con el ensamble o construcción del núcleo, bobinas, tanque y ensamble de sus partes, identificando constantes y variables, para lo que se requerirá, de una revisión mayor de literatura y hasta una posible entrevista o estancia con un fabricante para generar información oficial.

Debido a las características de flexibilidad y tendencias tecnológicas, ambientales, crecimiento poblacional, incremento de edad de la población y las energías renovables, es necesario determinar las características de los transformadores de potencia y sus componentes aplicables al sector del mercado meta; en la sección II relacionada con “Algunas tendencias en transformadores”, se hace mención de las investigaciones en materiales, sistemas de aislamiento, accesorios y técnicas de diagnóstico, sin embargo no es determinado el mercado al que van dirigidos, por lo que se realizará en una investigación posterior.

Finalmente es necesario estimar, en qué medida pueden ser reciclados los materiales de los transformadores que serán sustituidos y determinar su uso final, principalmente en países como Estados Unidos y la Unión Europea, siendo estos aquellos que encabezan la lista en futuros retiros.

#### VII. CONCLUSIONES

El crecimiento del mercado eléctrico, poblacional, y las tendencias socioeconómicas, impacta significativamente en el comportamiento de las organizaciones participantes en el sector eléctrico, como son generadores, generadores de intermediación, usuarios calificados, participantes del mercado, suministradores, comercializadores y no suministradores, quienes deberán considerar los requerimientos por tipo de generación de energía, reglamentación del sector del país o mercado al que serán dirigidos sus productos, así como sus características ambientales, Normas y Especificaciones Especiales por producto y tipo de materiales apropiados para la fabricación y retiro de transformadores sus componentes y productos relacionados.



Dada la capacidad de generación de energía eléctrica en Estados Unidos, estimada entre un 16 al 28% contra su consumo, las expectativas de crecimiento y la capacidad de realizar importaciones, se considera un mercado meta altamente atractivo para la inversión de organizaciones manufactureras relacionadas con el sector eléctrico.

- [25] Secretaría de Energía. “Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029”. México. 2015
- [26] Joskow, P. L., “Restructuring, competition and regulatory reform in the US electricity sector”. *Journal of Economic Perspectives*, 11(3), 119-138. 1997

## REFERENCIAS

- [1] IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers, IEEE Std. C57.12.80, 2010.
- [2] U.S. Department of Energy. “Infrastructure Security and Energy Restoration, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability. Large Power Transformers and the U.S. Electric Grid”. Estados Unidos. pp. 3-28. 2014
- [3] Hobday M. “Product complexity, innovation and industrial organization”. Inglaterra. pp. 689-710, Research Policy, 1998
- [4] Vedman J. & Alblas A. “Managing design variety, process variety and engineering change: a case study of two capital good firms”. Países Bajos. p.2. SPRINGER, 2012
- [5] Romero A. A. “An Overview on Power Transformer Management: Individual Assets and Fleets”. Argentina. p. 1. IEEE. 2012
- [6] Amoiralis E.L., Tsili M. A. & Kladas A.G., “Transformer Design and Optimization: A Literature Survey”, IEEE, vol. 24, no. 4, pp. 1999-2024, Octubre 2009
- [7] Norma Mexicana ANCE Transformadores y Autotransformadores de Potencia – Especificaciones NMX-J-284-2012, México, 2012
- [8] CFE Transformadores de Potencia de 10 MVA y mayores, Especificación K0000-06, México, 2017
- [9] CFE, Transformadores y Autotransformadores de Potencia para subestaciones de distribución, Especificación K0000-13, México, 2016
- [10] U.S. Department of Commerce. “Global Steel Report”. Estados Unidos p.5. 2016
- [11] Rivera, et. “Modelo sistémico organizacional para incrementar la productividad de un departamento de diseño: caso Voltran Transformadores”. 8vo Congreso Internacional de Ingeniería, Electromecánica y de Sistemas. México. 2016
- [12] Forza C. & Salvador F. “Managing form variety in order acquisition and fulfilment process: The contribution of product configuration systems”, *International journal of production economics*, 76, pp. 87-98, 2002
- [13] Perin S. “Transformer Design Review – Important step in the Technical risk management of the transformer Procurement and Design / Manufacturing process”. Australasian Universities Power Engineering Conference. Australia. 28 September – 1 October 2014
- [14] Olivares Galván J., Venegas Marco A. & Magdalena S., “La historia del transformador”. México. p. 5. IEEE
- [15] World Economic Forum. “Global Energy Architecture Performance Index”. 2017
- [16] Timmer M.P. e.t. “An Anatomy of the Global Trade Slowdown based on the WIOD”. University of Groningen, pp. 2-6, 2016
- [17] Georgilakis P.S., Tsili M. A. & Souflaris A.T., “A heuristic solution to the transformer manufacturing cost optimization problem”, *Journal of materials processing technology*, 181, pp. 260-266, 2007
- [18] United Nations. *World Population Prospects*, p. 1, 2015
- [19] National Intelligence Council, “Global Trends Paradox of Progress”. 2017
- [20] World Economic Forum. “The Global Risks Report”. 12th Edition. 2017
- [21] World Economic Forum. “The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge”. 2017
- [22] World Economic Forum. “These 10 countries are best at providing affordable and sustainable energy”. 2017
- [23] International Energy Agency. “U.S. Energy Information Administration”. 2016
- [24] Bose B, “Global warming: Energy, environmental pollution, and the impact of power electronics,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 4, no. 1, pp. 6–17, Mar. 2010