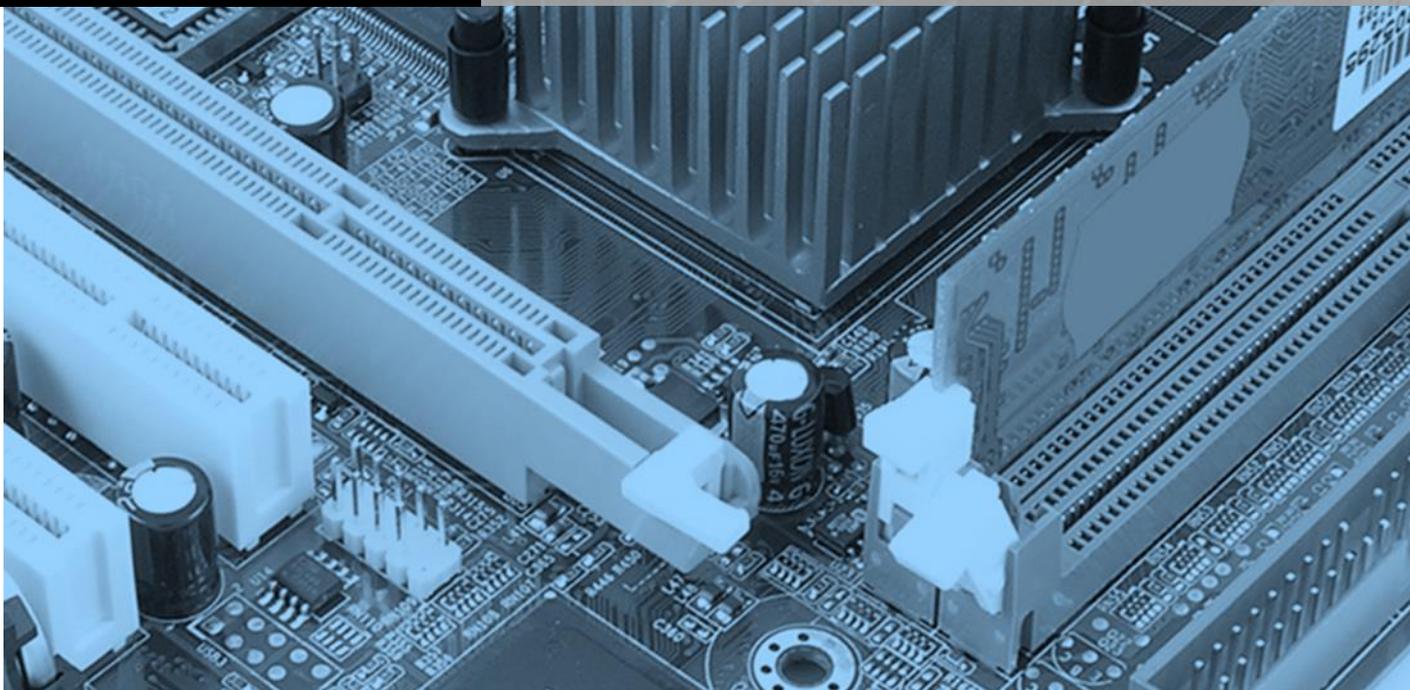




## DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL

La revista electrónica de Colinnovación, tiene el compromiso de informar sobre la actualidad de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Colombia.



## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| EDITORIAL .....   | 3  |
| INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE<br>RECOBRO PARA LA OBTENCIÓN DE<br>HIDROCARBUROS BAJO LA INFLUECIA DE<br>ACUIFERO ACTIVO ..... | 5  |
| AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA<br>AUTOMOTRIZ: CONCEPTOS Y PROCESOS .....  | 11 |
| TRANSFORMACIÓN DEL SISTEMA<br>ENERGÉTICO MUNDIAL .....  | 17 |
| TECNOLOGÍAS 4G LTE EN COLOMBIA:<br>OPORTUNIDADES DE DESARROLLO<br>TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN PARA<br>NUEVOS OPERADORES .....    | 22 |

INNOVACION S.A.

### DIRECTOR

Gabriel Alberto Zamudio

### EDITOR

Gabriel Alberto Zamudio

### CONSEJO EDITORIAL

Hermann Fuquen  
Juan Carlos Salavarría  
Claudia Sánchez

### COLABORADORES

#### ESPECIALES

Diego Zuluaga



### IMPRESIÓN - WEB

COLINNOVACIÓN SAS.

### COMUNICACIÓN

colinnovacion@gmail.com  
contacto@colinnovacion.com

Desarrollo Tecnológico e  
Innovación Empresarial  
Edición 3 – Volumen 2  
ISSN 2322-8725

# EDITORIAL

## ECONOMÍA DEL CONOCIMIENTO Y GERENCIA EMPRESARIAL Innovación tecnológica en la gerencia moderna

Gabriel Zamudio (COLINNOVACION)

Durante los últimos 5 años, se han introducido importantes cambios a la gerencia moderna, lo cual hace necesario transformar esta disciplina gerencial. Estos cambios han sido derivados de la revolución tecnológica impulsada por la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Salvo algunas particularidades, las principales áreas de una compañía han estado enfocadas en producción, finanzas, marketing, logística y recursos o talento humano. Se creía que vincular los cuatro principios de la administración científica (Planeación, organización, control y dirección) y los métodos impulsados por Taylor y Fayol y las demás teorías que han facilitado el arte de administrar una compañía durante los últimos 80 años eran suficientes para gerenciar adecuadamente una compañía. Estos principios siguen siendo válidos pero no suficientes a la luz de la revolución tecnológica impulsada por las TIC.

La toma de decisiones al interior de la compañía históricamente había sido responsabilidad de la alta gerencia basada en el conocimiento y experticia tanto técnica como emocional de los vicepresidentes, presidentes o gerentes funcionales. Sin embargo, hoy en una empresa gran cantidad de variables se pueden medir y cuantificar y la toma de decisiones en gran parte se puede sustentar en dichos datos cuantitativos, permitiendo generar escenarios de futuro que apoyen la definición de la estrategia organizacional.

La irrupción del Big Data y su convergencia con otras tecnologías para el procesamiento de la información, está cambiando la manera de ver y administrar las firmas. Por ejemplo, los daños o errores cometidos en un proceso productivo con patrones de regularidad pueden ser medidos estadísticamente, sobre esta información es posible construir un algoritmo matemático que exprese con análisis de sensibilidad el comportamiento actual, permitiendo corregir y prevenir el mismo desempeño en el futuro del área de producción.

Con esta información, puede llegar a modelarse matemáticamente el comportamiento de un área funcional de la empresa. Algunas técnicas más avanzadas de inteligencia artificial como redes neuronales o algoritmos genéticos permiten llevar la toma de decisiones a un umbral virtual, ya que los algoritmos genéticos pueden mutar y adecuarse a los cambios que expresa la información que se recoge por procesos productivos automatizados y robotizados haciendo que decisiones operativas y de control se automaticen con un escaso nivel de intervención humana y las decisiones más estratégicas se sustenten en un análisis de información robusto que permita a los gerentes tener en cuenta muchas variables que antes no era posible detectar.

Esta nueva realidad tecno-económica lleva a la gerencia a soportar sus procesos estratégicos de decisión en nuevas habilidades basadas

en conocimientos matemáticos y físicos, que permitan generar convergencia con las áreas funcionales de la empresa y hacer avanzar la organización hacia escenarios más rentables, innovadores, productivos y menos riesgosos. A futuro la figura del CEO podría llegar a delegar parte de sus decisiones a sistemas de información inteligente soportados por la capacidad matemática más avanzada, capaz de anticipar el futuro empresarial con un menor margen de incertidumbre entendiendo el entorno cambiante que nos rodea, haciendo cada día que la gerencia se centre en procesos estratégicos, delegando la carga operativa a los sistemas de información.



# INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE RECUBRO PARA LA OBTENCIÓN DE HIDROCARBUROS BAJO LA INFLUENCIA DE ACUIFERO ACTIVO

[Hermann Fuquen](#) Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

**Abstract**—El sector petrolero en Colombia ha sido uno de los más activos en cuanto a la generación de conocimiento para la recuperación de crudos especiales bajo condiciones difíciles de yacimientos. En el presente artículo examinamos dos técnicas de recubro basadas en la inyección de vapor en yacimientos que presentan acuífero activo con bajos espesores petrolíferos, el cual es una característica que se han encontrado en algunos yacimientos en Colombia y representan un reto para su aprovechamiento. Se realiza un repaso a los modelos de simulación utilizados para el estudio de yacimientos y se presenta una revisión del estado del arte donde se referencian otras experiencias alrededor del mundo con yacimientos de características similares.

**Index Terms**—Petróleo, Acuífero, Espesores Petrolíferos, Simulación numérica, Infill, Inyección de Vapor

## 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo describe las técnicas más utilizadas en el mundo para el recubro de hidrocarburos bajo la influencia de acuíferos activos, realizando un repaso de las tecnologías de estimulación como la inyección cíclica de vapor o continua, evaluando la aplicación de pozos inter-espaciados (Infill).

Es importante resaltar que existen numerosos casos de aplicación de la inyección alternada de vapor alrededor del mundo, ya que esta es una tecnología madura para la explotación de crudos pesados. Ejemplos de estos casos se encuentran aplicados principalmente en Venezuela, USA, Canadá, Trinidad y Tobago, México y muchos otros países reportados (Albornoz, 2012). Sin embargo, muy pocos de los casos identificados en la literatura presentan características donde se presentan acuíferos y bajos espesores petrolíferos. Como se detalla posteriormente se lograron identificar algunos casos cercanos dentro de la literatura mundial. Casi sin excepción, todos los desarrollos relacionados mencionan el nivel de dificultad y experimentación que otros investigadores han aplicado al caso, mencionando que como no es recomendable el uso de estas técnicas bajo las características especiales del yacimiento, es necesaria la aplicación de adaptaciones tecnológicas con la combinación de distintos procedimientos y la definición de simulaciones avanzadas para viabilizar la producción de estos pozos.

### Modelamiento matemático para el pronóstico del comportamiento de pozos

La modelación y simulación del comportamiento del pozo basado en los datos geológicos y físicos del yacimiento son vitales para maximizar la probabilidad de éxito en un proyecto de recuperación de hidrocarburos. Este permitirá determinar la factibilidad de operación y ejecución de un proyecto según los datos arrojados por los estudios preliminares. Los datos alimentan un modelo dinámico que parte de

la aproximación efectuada del modelo estático que contempla los modelos geológico, petrofísico, sedimentológico, definiendo así un conjunto de datos que representa el yacimiento. El modelo dinámico incluye las propiedades del fluido y yacimiento, así como las variables del modelo estático que incluye porosidad, permeabilidad distribución de propiedades por dónde van los canales internos del yacimiento entre otras variables identificadas anteriormente. Al modelo se le introducen los datos históricos que han producido el yacimiento y las características de los fluidos. Se realiza un ajuste histórico con el simulador basado en la producción pasada calibrando el modelo con estos datos, de esta manera se realizan las predicciones con la inyección de vapor (Cíclica o Inyección Continua) para determinar la conveniencia teórica de utilización de estos procesos de estimulación.

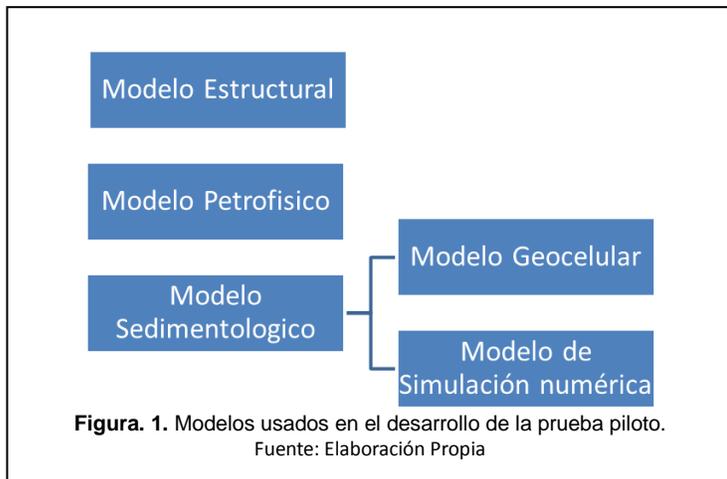
Por tanto, un nuevo modelo de simulación es necesario para verificar los parámetros de inyección como presión, caudal acumulado de vapor entre otros bajo las condiciones presentes en este caso. Este modelo será único y especialmente diseñado para este tipo de casos.

### Detalles de los distintos modelos de simulación:

Se deben desarrollar distintos modelos, correspondientes al estudio de yacimientos en cuanto al planteamiento Geo-estadístico, Geológico y Geofísico, que permitan finalmente alimentar el simulador numérico dinámico. Los modelos recomendados a elaborar en un yacimiento con estas características se muestran a la Figura 1.

Se inicia con un modelo estructural que contiene la interpretación sísmica-geofísica relacionada con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva del subsuelo de interés. Se refiere a un modelo

experimental que usa para su estudio métodos cuantitativos físicos como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y una serie de métodos basados en la medida de la gravedad, de campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y de fenómenos radiactivos.



Posteriormente viene el desarrollo del modelo petrofísico, el cual determina cuantitativamente las propiedades de la roca y los fluidos presentes en la misma, la petrofísica determina la relación existente entre los fluidos y su movimiento a través del medio poroso de la roca de un yacimiento determinado. De esta manera se obtienen las características del sub-suelo llegando a obtener un poblamiento de propiedades el cual es la base para el estudio geo-estadístico.

Finalmente, el modelo sedimentológico estudia los procesos de formación, transporte y deposición de material, que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y que normalmente forman rocas sedimentarias. Trata de interpretar y reconstruir los ambientes sedimentarios del pasado. Este modelo permite conocer de cerca las características del yacimiento en estudio. El modelo sedimentológico se encuentra estrechamente ligado a la estratigrafía, si bien su propósito es el de interpretar los procesos y ambientes de formación de las rocas sedimentarias y no el de describirlas.

Con la información obtenida de los modelos anteriormente descritos se crea el modelo Geo-celular que se alimenta de los modelos descritos anteriormente, los valores obtenidos de los modelos como son espesores, permeabilidades y porosidades y propiedades de flujo como:

- Presiones capilares
- Viscosidades
- Compresibilidad de Roca
- Compresibilidad de Fluido

- Presiones
- Temperatura

Toda esta información permite la creación de un Modelo Numérico Dinámico o Simulador Térmico, de donde se obtendrán los pronósticos de producción y se realizará un análisis de sensibilidad de variables en el simulador, probando variables como volúmenes de inyección de vapor, tiempo de remojo, entre otras.

## 2. ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS

### 2.1 Inyección Alternada de Vapor (IAV)

La inyección alternada de vapor es un proceso de estimulación térmica que involucra la transferencia de calor alrededor del pozo, en su área de drenaje a través de inyecciones cíclicas de vapor. En la IAV el pozo actúa como inyector y productor. La intención del calentamiento con vapor es mejorar la movilidad del petróleo, a través de la disminución de su viscosidad durante la inyección y el periodo de remojo (Ali, 1982).

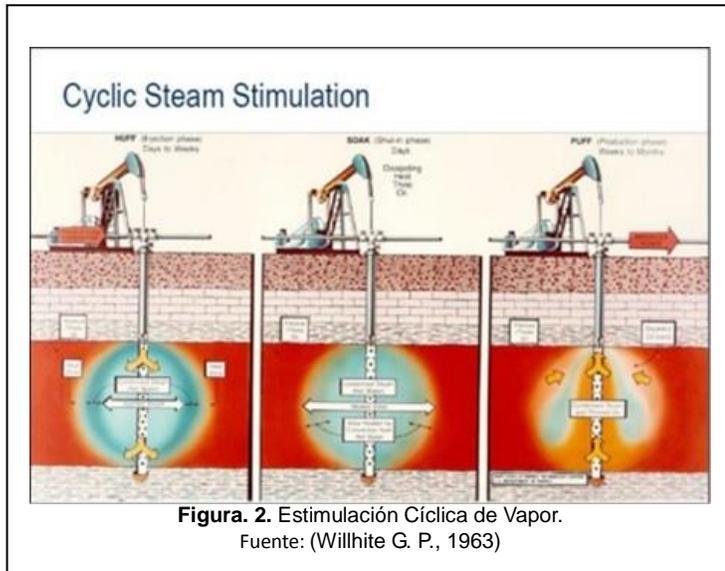
La Inyección Alternada de Vapor (IAV) es también conocida como Inyección Cíclica de Vapor (ICV) por sus siglas en español ó CSS por sus siglas en inglés – (*Cyclic Steam Stimulation*). En un sentido más amplio, la IAV es un proceso de estimulación de pozo que envuelve la transferencia de calor alrededor del pozo por inyecciones periódicas de vapor. En la IAV el pozo actúa como inyector y productor. La intención del calentamiento con vapor es mejorar la movilidad del petróleo durante la inyección y el periodo de remojo al reducir la viscosidad del petróleo. El recobro estimado por inyección cíclica está en un rango de 5-25% del petróleo original. La IAV involucra tres etapas (Ibid):

#### 2.1.1 Etapa de inyección.

La primera etapa involucra la inyección, en la cual durante algunas semanas el vapor es inyectado. En esta etapa, típicamente se inyecta entre 5000 a 20000 bbl-agua equivalente de vapor. La tasa de inyección debe ser aquella que permita minimizar las pérdidas de calor a través de las paredes del pozo y lograr el máximo radio calentado y la máxima temperatura en la zona calentada (Marx, 1959).

#### 2.1.2 Etapa de Remojo.

La segunda etapa consiste en el cierre del pozo por varios días, con el objetivo de transferir el calor proveniente del vapor hacia el yacimiento, de esta manera disminuye la temperatura del pozo y se evita la producción de vapor en la etapa de producción en caliente (Figura 2). El periodo de remojo se estima de acuerdo con la experiencia en campo, sin embargo los tiempos tipo de remojo están entre 3 a 7 días. Durante este periodo, se espera transferir la máxima cantidad de calor al yacimiento (Willhite G. P., 1963).



**Figura. 2.** Estimulación Cíclica de Vapor.  
Fuente: (Willhite G. P., 1963)

### 2.1.3 Etapa de producción.

La última etapa es el periodo de producción, el cual se realiza una vez terminado el tiempo de remojo. Inicialmente se produce agua caliente y vapor, posteriormente se produce petróleo caliente, en mayor cantidad que la producción de petróleo en frío, que estaba produciendo el pozo antes de la estimulación con vapor. Esta etapa termina cuando la tasa alcanza valores similares a la tasa que producía el pozo en frío, culminando así el ciclo. Los ciclos se vuelven a repetir varias veces hasta alcanzar su límite económico (Prats, 2005).

## 2.2 Inyección Continua de Vapor

El proceso de inyección continua de vapor es similar al anterior descrito con la diferencia que no se incluye la etapa de remojo y cierre del yacimiento y los pozos inyector y productores son distintos. En este método se inyecta continuamente vapor por un pozo inyector y se instala otro pozo productor, el yacimiento es enfrentado a un frente continuo de vapor que entra en él y propicia el cambio en propiedades tanto de los fluidos como de la roca. El proceso provee de un mecanismo de empuje por gas debido al frente de vapor que se desplaza y lleva al crudo hacia los pozos productores.

## 2.3 Pozos Interespaciados INFILL

Esta técnica básicamente utiliza pozos inter-espaciados a los ya existentes para mejorar la recuperación en zonas que difícilmente accedían los pozos originales. Anteriormente no se seguía un patrón de arreglo de pozos sobre todo porque se aplicaba la explotación múltiple de yacimientos y las perforaciones de dichos pozos profundizaban sólo hasta la arena objetivo, cubriendo uno o dos prospectos. Con las recientes tecnologías de simulación descritas anteriormente la definición del arreglo de los pozos, se realiza de manera sistemática dependiendo de los resultados del modelo de simulación y apoyado en la información geológica y física que es posible obtener gracias a distintas técnicas como la sísmica 3D.

Estos desarrollos han permitido que la técnica de perforación inter-

espaciada, sea una buena alternativa para incrementar el factor de recobro de estos yacimientos debido a que en ésta, la inversión es menor y los costos operacionales son más razonables.

## 2.4 Revisión del Estado del Arte Mundial en publicaciones internacionales

A continuación se realiza una revisión de publicaciones académicas que pertenecen al estado del arte para la producción de petróleo bajo condiciones especiales de acuíferos y bajos espesores petrolíferos.

### 2.4.1 Proceso innovador de producción térmica para movilizar reservorios de crudo pesado con acuífero en el fondo

En el trabajo de Rodríguez & Darsha et.al (2003) se describe un esquema de producción térmica, denominado "Horizontal Alternate Steam Drive" (HASD), este proceso ha sido diseñado para mejorar la recuperación de crudos pesados móviles en presencia de acuíferos en el fondo, donde el agotamiento natural es ineficiente debido al fuerte corte de agua del acuífero. HASD es un patrón repetitivo usando profundidad equitativa para obtener petróleo de pozos horizontales que actúan alternativamente como productores e inyectores de vapor. El proceso principal consta de la inundación de vapor a través de pozos horizontales entre pozos sucesivos y ha resultado ser más eficiente que la inyección de vapor cíclica clásica. Se utilizan métodos de simulación en modelos homogéneos 2D simples y simulaciones en 3D donde se confirma que el método HASD aumenta la recuperación bajo la presencia de acuíferos conectados moderadamente, en comparación con el agotamiento natural, e incluso se podrían mejorar los rendimientos obtenidos por procesos térmicos estándar como el SAGD (Drenaje asistido de vapor por gravedad) (Rodríguez, 2003).

### 2.4.2 Mejora del rendimiento de inyección continua de vapor con un depósito de inmersión muy permeable con fuerte empuje de agua

En la investigación de Chenot & Shah (2012) se analiza como la localización y el momento de operación de inyectores de vapor es crucial para el rendimiento óptimo de la inyección continua de vapor en el campo Round Mountain; con un yacimiento inmerso de depósito altamente permeable con un corte muy fuerte de agua. La gestión de los reservorios para conservar el vapor y su calor es una necesidad en cualquier inyección continua de vapor, especialmente si una fuerte presencia de agua está presente. En el Campo Round Mountain, con un corte de agua primaria de 99.5%, la inyección de vapor fue instituido en una estructura de posición hacia arriba, en 1998. El agua se produce con bombas eléctricas sumergibles de elevación de gran volumen (ESP) en los pozos dos filas más abajo de los inyectores. Estos pozos interceptan el acuífero y reducen la presión del yacimiento, lo que permite la expansión del frente de vapor. A medida que avanzaba el frente de vapor, los pozos que antes eran pozos de interceptación del agua comienzan a calentarse y producir petróleo en los cortes de agua bajos. Estos pozos se colocaron en las unidades y nuevos pozos de interceptación de agua se perforaron más abajo en la estructura. Las pérdidas de calor aumentan posteriormente disminuyendo la tasa de expansión del frente de vapor. En este trabajo se

analiza adicionalmente la estrategia de "Reubicación del inyector de vapor" ideado para abordar específicamente el problema. Se planteó un método en el cual, una vez que la estructura de los pozos productores experimenta una expansión de vapor más lenta hasta la disminución de la producción en los equipos de superficie, esta estructura se convierte en inyectora. Esto conduce a un frente más favorable de expansión de vapor, mejorando significativamente la producción, y reduciendo las pérdidas de calor. El proceso se ha repetido cuatro veces, y en la actualidad el frente de vapor se acerca al contacto original de aceite y agua en algunas zonas del campo. Las lecciones aprendidas del proyecto hacen hincapié en la necesidad de una vigilancia cuidadosa y continua de la producción, la presión, la temperatura de la línea de flujo, y las pérdidas de calor con el fin de mover ambos inyectores y productores en los momentos críticos (Chenot, 2012).

### **2.4.3 Definición de Estrategias de recuperación mejorada para un reservorio de crudo pesado convencional con un gran acuífero en el campo petrolero de Fula, Sudan.**

En la investigación de Xiuluan & Youwei (2013) inicia recapitulando como las técnicas de inyección de vapor especialmente la de tipo cíclica ha traído buenos resultados en la recuperación de crudos pesados, resaltando que no existen muchos reportes para producir crudo de reservas con grandes acuíferos. De acuerdo a las características petrofísicas y geológicas del bloque petrolero del estudio en Fula en Sudan, basado en los resultados de pruebas al crudo, detallados modelos geológicos 3D y el tipo de pozo modelados para inyección de vapor, se realizó un estudio sobre el posible desempeño teniendo en cuenta las propiedades geológicas del campo.

La zona de desarrollo, las estrategias de perforación, la cantidad de inyección cíclica de vapor, la tasa de inyección de vapor, tiempo de inmersión, y el período cíclico están optimizados para la inyección continua de vapor. Basado en el rendimiento de la producción de la inyección cíclica de vapor (CSS), los ciclos óptimos de CSS seguido de inundación de vapor se determina. El patrón del pozo y el espaciamiento así como los parámetros de la inundación de vapor y la tasa de inyección de unidad de vapor, la calidad del vapor, los efectos del acuífero inferior en la inundación de vapor también se simulan y optimizan. Los resultados de la simulación indican que la técnica de recuperación térmica, especialmente con 4 ciclos de CSS seguido de inundación de vapor, puede adquirir un rendimiento satisfactorio, que muestra un futuro eficaz y económico en el desarrollo de los depósitos de petróleo de crudo pesado del tipo de Fula en Sudan (Xiuluan, 2013).

### **2.4.4 Evaluación de técnicas de recobro mejorado para yacimientos de crudo pesado mediano con un fuerte acuífero en el sur de Omán**

En la investigación de Brooks & Zwart et al (2010) se muestra como los autores realizaron una búsqueda de técnicas EOR viables para un depósito de crudo medio-pesado de alta permeabilidad y con un fuerte acuífero inferior en el sur de Omán. Los pozos productores horizontales perforados inicialmente demostraron un alto rendimiento, sin embargo posteriormente la irrupción rápida de agua

junto a la producción de petróleo con alto corte de agua desmejoró los índices de producción. Dada la mala recuperación de petróleo primaria, estos yacimientos fueron candidatos para aplicar técnicas de recuperación mejorada, como un medio para incrementar la recuperación final.

Entre las características encontradas para el yacimiento de estudio, se incluye un acuífero inferior grande y fuerte, sosteniendo una presión del yacimiento de (100 bar) y la viscosidad del crudo medio-alto (250 a 500CP). Tres técnicas de recuperación mejorada se identificaron como potencialmente factibles, para incrementar la recuperación final y su aplicación práctica, estas fueron: combustión in-situ (ISC), inyección de alta presión de vapor (HPSI) e inundaciones con polímeros. Ninguno de los tres procesos se prescriben para depósitos como los presentes en el sur de Omán por tanto la modificación de los procesos básicos eran un imperativo. ISC se aplica generalmente a yacimientos con arenas delgadas y confinadas en ausencia de agua del fondo. La inyección de vapor se aplica normalmente a baja presión del yacimiento y la inyección de polímeros se aplica normalmente a crudos con viscosidad menor de 150cP. El documento describe una evaluación totalmente integrada de estos procesos EOR. La comparación se hace en términos de recuperación incremental simulando, factores económicos, las necesidades de energía y la huella de CO<sub>2</sub>, el volumen de destino y el sentido práctico de la aplicación en un campo. Contra estas métricas, las inundaciones de polímero demuestran ser la mejor opción.

## **3. DISCUSION DEL OBJETO DE INVESTIGACION**

Las tecnologías de recobro térmico basadas en inyección de vapor datan de años atrás y los orígenes del proceso de propiedad industrial vienen de los años 70 hasta la fecha. Sin embargo, desarrollos de estas tecnologías en yacimientos con acuífero activo y en condiciones geológicas especiales son escasos a nivel mundial. Aquí radica el principal desafío de generación de conocimiento que enfrentarán las empresas petroleras, las cuales tendrán que generar un desarrollo tecnológico capaz de permitir el uso de tecnologías de inyección de vapor y perforación junto a las técnicas de pozos inter-espaciados con las limitantes de bajo espesor y empuje hidráulico.

El desarrollo tecnológico que deberán generar las empresas petroleras, inicia con la definición del modelo de simulación más apropiado que permita el estudio e identificación de pozos similares. Continua con la experimentación de distintas técnicas y procedimientos obtenidos por el modelo desarrollado basados en una prueba piloto y finaliza con la concepción precisa de un método y la definición de tecnologías que permitan desde el punto de vista de ingeniería y económico la recuperación de recursos que impacten en el volumen de reservas del país y su autosuficiencia futura, además de la posibilidad de competir internacionalmente por campos de difícil recuperación.

En Colombia se han identificado varios campos con reservas de petróleo que pertenecen a la clasificación de crudos pesados pero que contienen características en su yacimiento que no permiten la aplicación de las técnicas tradicionales de recuperación térmica. Al aplicar una evaluación tipo screening tecnológico para evaluar métodos

de estimulación, los métodos disponibles bajo las técnicas tradicionales no son recomendables ya que se encuentran muy al límite de las características óptimas sugeridas en la teoría. Entre otros inconvenientes se cuenta con espesores petrolíferos muy bajos y acuíferos activos.

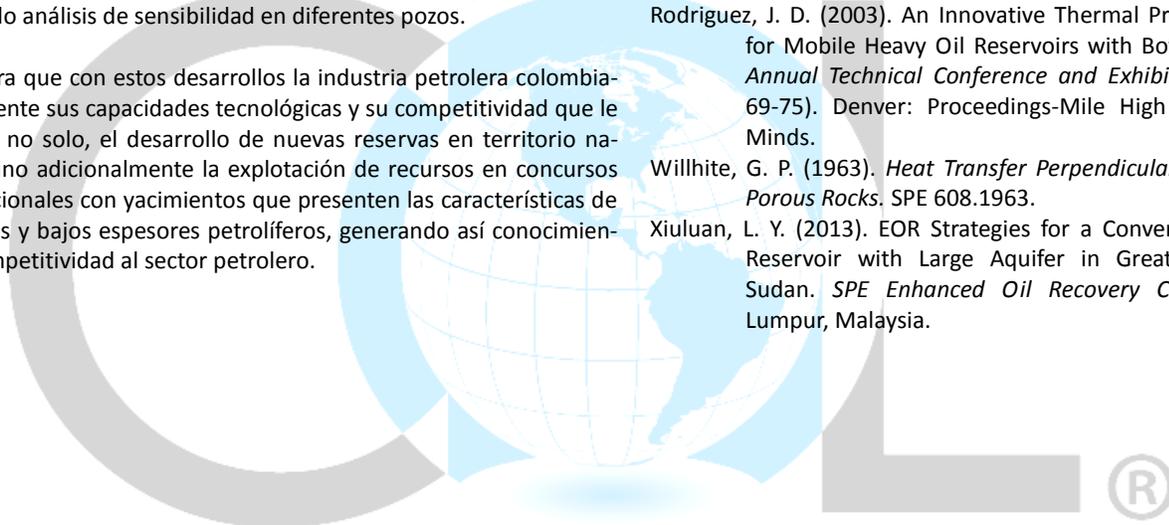
## CONCLUSIÓN

El presente artículo muestra una necesidad en el sector petrolero para desarrollar una solución que se adecúe a los niveles del factor de recobro óptimos para el aprovechamiento de este tipo de pozos con acuíferos activos y bajos espesores petrolíferos, descartando técnicas y ajustando los procedimientos específicos. Este investigación junto al desarrollo de proyectos específicos en campos que están realizando las principales empresas productoras de petróleo en Colombia, permitirá determinar si la tecnología aplica al caso de estudio, evaluando variables como el tonelaje a usar de inyección de vapor los tiempos de remojo, el uso de Infill (pozos inter-espaciados) entre otras variables, esta experimentación tecnológica se realiza aplicando análisis de sensibilidad en diferentes pozos.

Se espera que con estos desarrollos la industria petrolera colombiana aumente sus capacidades tecnológicas y su competitividad que le permita no solo, el desarrollo de nuevas reservas en territorio nacional sino adicionalmente la explotación de recursos en concursos internacionales con yacimientos que presenten las características de acuíferos y bajos espesores petrolíferos, generando así conocimiento y competitividad al sector petrolero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albornoz, C. R. (2012). Proyecto Piloto de Inyección Cíclica de Vapor en el Campo Capella – Cuenca Caguán. *Simposio Bolivariano ACGGP*.
- Ali, S. (1982). *Steam Injection Theories – A Unified Approach*. . SPE 10746.
- Chenot, D. &. (2012). Enhancing steamflood performance of highly permeable dipping reservoir with strong waterdrive. *Society of Petroleum Engineers Western Regional Meeting*, 255-267.
- Marx, J. L. (1959). Reservoir Heating by Hot Fluid Injection. *SPE 1266-G*.
- Mercado, D. (2008). *Modelo Analítico para Predecir el Comportamiento de la Inyección Continua de Vapor en Yacimientos Estratificados de Crudo Pesado*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Prats, M. (2005). *Thermal Recovery*. Texas, USA.: SPE Monography Vol 7.
- Rodriguez, J. D. (2003). An Innovative Thermal Production Scheme for Mobile Heavy Oil Reservoirs with Bottom Aquifer. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition* (págs. Pages 69-75). Denver: Proceedings-Mile High Meeting of the Minds.
- Willhite, G. P. (1963). *Heat Transfer Perpendicular to Fluid Flow in Porous Rocks*. SPE 608.1963.
- Xiuluan, L. Y. (2013). EOR Strategies for a Conventional Heavy Oil Reservoir with Large Aquifer in Greater Fula Oilfield, Sudan. *SPE Enhanced Oil Recovery Conference*. Kuala Lumpur, Malaysia.



INNOVACION S.A.S.



# AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ: CONCEPTOS Y PROCESOS

[Claudia Sánchez](#), Consultora en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

**Resumen** — Se define automatización como el proceso que permite que las máquinas realicen un número predeterminado de operaciones ordenadas, a través del uso de dispositivos y sistemas que facilitan el control de diferentes variables del proceso, limitando a su vez la intervención humana. El presente artículo pretende retomar definiciones de conceptos relacionados con los procesos de automatización, examinando particularmente en la industria automotriz cuales son los procesos generalmente automatizados, los retos a los que se enfrentan este tipo de proyectos y las variables a evaluar para que los proyectos de automatización generen incrementos en la seguridad y competitividad de la industria tanto a nivel de ensamble, como en la fabricación de autopartes. Finalmente el artículo realiza una revisión de las tendencias de investigación y de los grupos de investigación en Colombia con experiencia en la temática planteada.

**Palabras Clave** — Industria Automotriz, Automatización, Ensamble, Autopartes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Al desarrollo de procesos donde exista una mayor intervención de máquinas, limitando la intervención humana puede ser una buena solución desde que estén claros los objetivos de realizar este tipo de procesos en una planta de manufactura; por ejemplo debe haber claridad en que la principal razón para automatizar no son eficiencia o flexibilidad, sino seguridad (Ponticel, 2003). Otros aspectos a tener en cuenta son: 1) alcance de la intervención, es decir el nivel de automatización y el nivel de trabajo manual, 2) los procesos específicos que van a ser automatizados y 3) las variables que van a ser objeto de análisis y control en estos procesos.

En el sector automotor, tal como en el resto de industrias de manufactura, han sido un reto los procesos de diseño o rediseño de planta para lograr una adecuada mezcla entre automatización y trabajo manual así como la identificación de los procesos sensibles donde es útil y conveniente automatizar.

Este artículo tiene como objetivo retomar algunos conceptos relacionados con los procesos de automatización, relacionándolos con el sector automotor al examinar en esta industria, cuales son los elementos a tener en cuenta, los procesos frecuentemente automatizados y las variables a evaluar para un proceso de automatización que permita incrementos en la seguridad y competitividad de la industria tanto a nivel de ensamble, como en la fabricación de autopartes.

## 2. CONCEPTOS SOBRE AUTOMATIZACIÓN.

En esta sección se presenta una descripción básica sobre definiciones para el término automatización.

### 2.1 Pre Automatización

Se entiende por pre-automatización las estrategias que se despliegan para hacer que una máquina cumpla un trabajo (Schonberger, 1997)

De acuerdo con Schonberger (1997), las actividades realizadas para pre-automatizar facilita el trabajo tanto para las máquinas como

para la realización de procesos manuales y disminuyen el tiempo de ubicación de las cosas. Algunas de las actividades que podrían calificarse dentro de esta etapa del proceso de automatización se listan a continuación:

- Acortar distancias para alcanzar las cosas.
- Colocar herramientas y piezas cerca del punto de trabajo.
- Rediseñar estantes y accesorios con el fin de facilitar el acceso a los elementos que se ubican en ellos.
- Diseñar dispositivos automáticos tipo poka-yoke (a prueba de errores) que faciliten la verificación de los procesos.

### 2.2 Automatización

Se conoce así al proceso que permite que las máquinas realicen un número predeterminado de operaciones ordenadas, a través del uso de dispositivos y sistemas que facilitan el control de diferentes variables del proceso, limitando a su vez la intervención humana (Kalpakjian, 2002). Por lo general, un proceso de automatización industrial es generado por la convergencia de tres tecnologías: mecánica, electrónica e informática, las cuales le dan dirección a los procesos tecnológicos, asegurando su optimización, en forma de sistemas automáticos (Córdoba, 2006).

En la industria manufacturera, la automatización puede implementarse a partir de la intervención en áreas básicas como: los procesos de manufactura, el manejo de material, los procesos de inspección, como se esquematiza en la Figura 1 y otros procesos como ensamble y empaque (Kalpakjian, 2002).

La automatización requiere en primer lugar de la definición del objetivo a alcanzar con la realización de estas inversiones, así como la identificación y el análisis de los procesos a intervenir. Algunos de los elementos a considerar en el análisis son: el tipo de producto a fabricar, la cantidad y velocidad de producción, la fase de la operación a intervenir a través de automatización, la confiabilidad de la operación y del mantenimiento posterior, los requerimientos de capacitación de la mano de obra entre otras. (Kalpakjian, 2002).

Un proceso automatizado integra fuentes de energía, infraestructura de equipos, uno o varios programas de instrucciones (definen acciones a desarrollar), arquitectura del sistema de control definiendo requerimientos de sensórica, instrumentación, controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de supervisión, de acuerdo con los requerimientos del proceso y finalmente, el sistema de control que integra y ejecuta el programa de instrucciones del sistema automático (Vallejo & Vallejo, 2005).



**Figura. 1.** Áreas Básicas de Automatización en la industria de manufactura Fuente: Adaptado de (Kalpakjian, 2002)

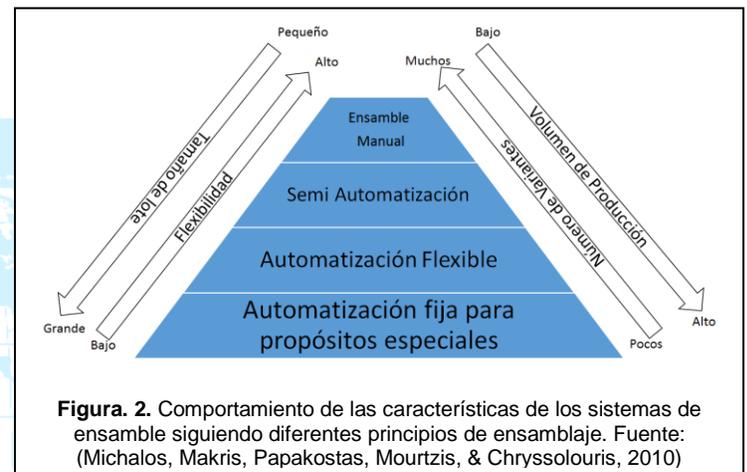
### 3. AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Siendo reconocida como una industria de media alta tecnología, medida por su importante nivel de inversión en Investigación y Desarrollo (European Commission - Joint Research Centre, 2013), la industria automotriz sigue siendo un sector que en todo el mundo afronta retos como la regionalización, saturación de algunos mercados, la globalización (Rico, Sánchez, & Laverde, 2012), así como los avances tecnológicos, los nuevos competidores y su continua reestructuración. Adicionalmente, las tendencias de mercado han originado una transformación de la industria de producción en masa a customización, que genera la necesidad de fabricar vehículos con amplia cantidad de variantes, usando la menor cantidad de recursos y materiales en el menor tiempo (Michalos, Makris, Papakostas, Mourtzis, & Chryssolouris, 2010).

Por otro lado, los diseños de procesos de producción y los rediseños de planta, están condicionados a diversos factores. Por ejemplo, se ha demostrado que sistemas totalmente automatizados o procesos completamente manuales no llegan a ser el sistema óptimo en el ensamble de automóviles, en términos de los efectos combinados de costo, calidad y flexibilidad. Por lo tanto, para implementar cualquier tipo de sistema automático en un proceso productivo se requerirá visión a largo plazo, procedimientos lógicos y un diseño eficiente de las líneas de montaje para garantizar la eficiencia en los procesos de fabricación (Gorlach & Wessel, 2008).

### 3.1 Automatización en el ensamble de Vehículos.

De acuerdo con Michalos et al (2010) las plantas de ensamble, propias de este sector, cuentan con una estructura tradicional, que comprende cuatro etapas: estampado, body shop, pintura y ensamble final. La mayor parte de las operaciones de ensamble, se realizan en dos secciones: Body Shop y Ensamble Final. De acuerdo con estas estructuras, se diseñan los sistemas de montaje, los cuales pueden variar, de acuerdo con el sistema de montaje que se requiera: a. montaje manual, b. montaje flexible c. montaje semi-automatizado y d. montaje fijo. La decisión sobre el tipo de montaje, tendrá que ver con variables como los volúmenes de producción, los tamaños de lote a fabricar, la flexibilidad que se requiera. La relación entre estas variables y el tipo de sistema de montaje recomendado, se pueden observar en la Figura 2.



**Figura. 2.** Comportamiento de las características de los sistemas de ensamble siguiendo diferentes principios de ensamblaje. Fuente: (Michalos, Makris, Papakostas, Mourtzis, & Chryssolouris, 2010)

Adicionalmente, en el proceso mismo de producción es necesario enfrentar retos como las condiciones ergonómicas, que faciliten la interacción humana con los procesos de fabricación y el manejo de material, garantizando la seguridad y salud de los operarios de planta, e igualmente, disminuyendo costos por actividades innecesarias o que pueden ser realizadas de manera automática por máquinas con limitada intervención humana. En los procesos de automatización, se requiere tener en cuenta variables como la dimensión y el tamaño de las piezas a manejar, el nivel de precisión de los procesos y las tasas de producción (Michalos, Makris, Papakostas, Mourtzis, & Chryssolouris, 2010). Algunos de los puntos en los cuales se puede requerir automatización en empresas de ensamble de vehículos, se describen a continuación.

#### 3.1.1 Manejo de Materiales

Existen varias razones para automatizar los procesos de manejo de materiales. En la investigación de Michalos et al (2010) argumentan los autores costos relacionados con el manejo de materias primas, así como de material y partes en proceso y de productos terminados; adicionalmente, la necesidad de disminuir daños en los mismos, debido a manejos no apropiados. Los autores mencionan que actualmente, la principal industria de implementación de sistemas robóticos para estas actividades es la automotriz, tanto en las OEM como en sus proveedores.

Se utilizan diferentes sistemas, de acuerdo con el alcance de las operaciones y el espacio disponible para su actuación: robots en colabo-

ración, sistemas de transporte y monorraíles automatizados, son algunas de las opciones. Adicionalmente, existen soluciones que implican la interacción hombre máquina, particularmente para el manejo de partes pesadas o de gran tamaño como tableros de control, módulos de cabina, bloques de motor (Michalos, Makris, Papakostas, Mourtzis, & Chryssolouris, 2010).

Con respecto a los procesos de almacenamiento, existen retos relacionados con automatización como por ejemplo los procesos de manejo y almacenamiento, con sistemas First in - First out (FIFO).

### 3.1.2 Uniones

Por lo general, los procesos en una línea de montaje implican la unión de dos o más componentes con el fin de producir subconjuntos. Estos procesos de unión, en las empresas de ensamble de vehículos son realizados a través de procesos como soldadura, grafado y grapado.

- **Soldadura:** técnicas de soldadura por arco, como el metal de gas inerte (MIG), gas inerte de tungsteno (TIG) y arco metálico manual (MMA) son ampliamente adaptadas. La soldadura de punto generalmente tiene, la mayor participación en el ensamble de las cabinas de los vehículos. Este último tipo de soldadura es usada para unir varias capas de metal con grosor reducido. La unión se produce por la generación de calor y presión, sin adición de material en áreas procesadas. Se requiere de una precisa combinación de variables tales como presión, intensidad de corriente y periodo de tiempo de soldado. Actualmente se realiza manualmente, en empresas con bajos niveles de producción o con brazos robóticos en el caso de plantas con nivel de producción alto.
- **Grafado:** Originalmente fue considerado como un proceso de ensamble, (un método usado para unir dos láminas de metal, por ejemplo la parte externa e interna de la puerta de un automóvil). Sin embargo, actualmente es considerado proceso de conformado (Livatyalia, Laxhuberb, & Altanc, 2004). Además del proceso de doblado, se realiza la unión (doblez) de un panel externo que viene del proceso de estampado con un panel interno, por medio de matrices, robots y sistemas automáticos de selección, de transporte y aplicación de sellantes.
- **Grapado:** Este proceso de unión de láminas metálicas es fundamental en la fabricación de estructuras de paredes finas. El grapado, es una técnica de unión de láminas en el cual la junta es generada por una deformación en frío localizada, que se traduce en un cierre de unión de las láminas. (Rietman, Goretti Doig, & Weiher, 2001)

## 3.2 Automatización en la fabricación de piezas para Vehículos.

Las industrias de autopartes enfrentan retos similares a los mencionados de las empresas ensambladoras, con componentes adicionales como: a. Requisitos de cumplimiento de órdenes con mayor nivel de complejidad, dependiendo de los requerimientos de cada cliente, del nivel de exportación de la empresa (para enfrentar requisitos legales como etiquetas individuales para cada país por ejemplo), b. Entregas más pequeñas y más frecuentes, c. Requerimientos de

soluciones ergonómicas y de productividad, d. Sistemas de almacenamiento adaptados para los cambios de mercado y con la capacidad requerida (Trebilcock, 2011). Dadas las condiciones mencionadas anteriormente, uno de los retos para los fabricantes que están en crecimiento, será la automatización de los sistemas de manejo y almacenamiento de material. Sin embargo, siempre será necesario establecer el nivel de automatización requerido, las mezclas entre automatización, semiautomatización y trabajo manual, ya que estos procesos pueden incrementar la eficiencia con respecto a la mano de obra por vehículo; sin embargo, puede reducir la flexibilidad en cuanto la posibilidad de fabricar varios y diferentes modelos mezclados en la misma línea de producción (Ponticel, 2003).

### 3.2.1. Tecnologías de inspección del producto

Con el fin de mejorar los objetivos de calidad de producción en procesos de manufactura, se han desarrollado tecnologías de automatización y soluciones TIC.

En el caso de inspección de producto, es posible realizar recolección de datos en línea. Para la fabricación de productos de alta complejidad, se requerirán sistemas que permitan comprobar datos de manera flexible, en 3D e integrando los sistemas de sensores múltiples. Para realizar este proceso se requiere el desarrollo de arquitecturas de TIC que permitan apoyar la inspección en línea y el intercambio de datos en tiempo real (Colledani, y otros, 2014).

### 3.2.2. Tecnologías de control de procesos

Teniendo en cuenta la complejidad de los procesos de manufactura y de las piezas en fabricación, en algunos casos, será necesario implementar control de procesos. Este tipo de automatización involucra el monitoreo y control de las variables críticas de la máquina en la cual se elabora el producto, de manera que se pueda mantener información sobre la condición del equipo y un diagnóstico avanzado, así como la posibilidad de mantenimiento con baja interferencia con el sistema de producción (Colledani, y otros, 2014). Dependiendo del nivel de integración entre el mecanizado y el monitoreo, se puede decir que hay control de proceso si existe un alto grado de automatización y posibilidad de comprobar parámetros de máquina; diferenciando este nivel con respecto al control de línea. De acuerdo con Colledani et al (2004) procesos de mecanizado como torneado o fresado no permiten en la actualidad control de proceso, aunque si permiten fuera de proceso, medición en línea, en los cuales se pueden supervisar los parámetros críticos de la máquina como vibraciones parásitas, fuerza axial, integridad de herramienta entre otras, que son las variables a controlar para realizar de manera correcta los procesos de mecanizado (conformado de material con arranque de viruta).

Para los procesos de automatización en general, la correlación entre las señales y los datos metrológicos de la geometría de producto, sigue siendo un reto en las operaciones de manufactura (Colledani, y otros, 2014).

## 4. TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta el enfoque de calidad total de esta industria, será importante desarrollar proyectos de investigación que permitan interacción entre metodologías y procesos automáticos, siguiendo

algunos de los siguientes temas (Colledani, y otros, 2014):

- Políticas relacionadas con la reparación proactiva de defectos en línea, que estará relacionado con el apropiado control de calidad en cada etapa, a pesar de estar en un Sistema multietapas, de tal forma que permita corregir los errores que puedan venir aguas arriba del proceso.
- Análisis de calidad de juntas o uniones en correlación con los sistemas dinámicos.
- Formalización de estructuras de datos y los mecanismos de interacción entre los departamentos de mantenimiento, calidad y producción.

## 5. AUTOMATIZACIÓN DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ EN COLOMBIA.

A nivel local se han identificado aproximadamente 8 grupos de investigación que reportan haber desarrollado actividades relacionadas con automatización en procesos de manufactura para el sector automotor (Ver Tabla 1). Los productos de ciencia y tecnología relacionados en la plataforma Scienti, se distribuyen entre ejecución de proyectos, trabajos de pregrado, publicación de artículos científicos, y trabajos en eventos.

TABLA 1

GRUPOS CON INVESTIGACIONES PUNTUALES RELACIONADAS AUTOMATIZACIÓN PARA EL SECTOR AUTOMOTOR.

| Nombre del grupo  | Líneas de investigación   |
|---|---|
| Grupo de Trabajo en Nuevas Tecnologías de Diseño y Manufactura-Automatización DIMA UN | Automatización de máquinas - robots procesos<br>Diseño de productos y procesos industriales y preseries                     |
| Grupo de Investigación en Innovación y Tecnología-GIIT                                | Línea de Investigación en Automatización  |
| GIAP  | Control Avanzado Robótica   |
| Investigación en Materiales, Procesos y Tecnologías de Fabricación - IMTEF            | Diseño, fabricación y ensamble de productos   |
| Gestión Gerencial   | Producción, Logística y Modelos Predictivos   |
| GI FOURIER  | Desarrollo Tecnológico  |
| Grupo de Productividad y Competitividad   | Diseño y Gestión de Operaciones Ingeniería Concurrente  |
| REM (RESEARCH IN ENERGY AND MATERIALS)  | Aplicaciones de la ingeniería de materiales en el sector automotor<br>Procesos de manufactura<br>Tratamiento de superficies |

Fuente: Elaboración Propia, Datos: (SCIENTI, 2014)

En el caso del sector productivo, algunos de los proyectos desarrollados por ensambladoras como GM COLMOTORES, han generado diferentes niveles de automatización. Recientemente, esta compañía recibió el premio Team GM Transformers, otorgado por General Motors Corporation, por el primer robot de la industria automotriz nacional ensamblado y programado 100% en el país (GM COLMOTORES MEDIOS, 2014). Actualmente tanto esta empresa, como otras empresas del sector, se encuentran desarrollando proyectos de automatización con el propósito de mejorar las condicio-

nes laborales e incrementar su competitividad.

## CONCLUSIÓN

El desarrollo de procesos de automatización en la industria manufacturera requiere la identificación de las potencialidades del desarrollo de estas actividades, pero también de la claridad del alcance que puede tener en la fábrica, de tal forma que permita mantener niveles de flexibilidad, genere beneficios en términos de seguridad y ergonomía y de productividad.

En la industria automotriz, existen necesidades compartidas de automatización en ensambladores y fabricantes de partes como el manejo y almacenamiento de materiales, así como necesidades divergentes como la aplicación de sistemas automáticos a los procesos de producción tanto del vehículo (soldadura, grapado, grafado entre otras) como la fabricación de partes y piezas en la cual hay una amplia diversidad tanto de materiales como de procesos de manufactura.

Una corriente reciente es automatizar la inspección de productos, para cumplir con procesos de calidad total, que conservan y refuerzan las políticas y cultura organizacional que los sistemas de producción que han implementado durante años en las empresas de la industria automotriz. Sin embargo, en este aspecto hay una serie de líneas de investigación dispuestas para ser desarrolladas en el presente y el futuro.

En Colombia el sector automotor ha dado grandes pasos en su desarrollo tecnológico y ha adaptado tecnologías de automatización para la escala de producción que cuenta, la cual es pequeña al compararla con la de otros países que son grandes productores. También este sector ha tenido un cercano relacionamiento con el sector académico y con grupos de investigación lo que seguramente generará nuevos proyectos y nuevas capacidades para desarrollar procesos más seguros y eficientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Colledani, M., Tolio, T., Fischer, A., Iung, B., Lanza, G., Schmitt, R., & Váncza, J. (2014). Design and management of manufacturing systems for production quality. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 773–796.
- European Commission - Joint Research Centre. (2013). *The 2013 EU Industrial R&D Scoreboard*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- GM COLMOTORES MEDIOS. (4 de Septiembre de 2014). *NOTICIAS E INFORMACIÓN*. Obtenido de Sitio Web General Motors Colmotores:  
<http://media.gm.com/media/co/es/chevrolet/news.detail.html/content/Pages/news/co/es/2014/sept/0904-equipos.html>
- Gorlach, I., & Wessel, O. (2008). Optimal Level of Automation in the Automotive. *Engineering Letters*, 141.
- Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación.
- Livatyalia, H., Laxhuber, T., & Altanc, T. (2004). Experimental

investigation of forming defects in flat surface–convex edge hemming. *Journal of Materials Processing Technology*, 20-27.

Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D., & Chryssolouris, G. (2010). Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 81–91.

Ponticel, P. (2003). Automation: a tool, not an end. *Automotive Engineering International*, 86-89.

Rico, M. J., Sánchez, C. M., & Laverde, R. (2012). Sector Automotor Colombiano: Innovar para crecer. *ANDI*, 10-17.

Rietman, B., Goretti Doig, M., & Weiher, J. (2001). Predicting the quality of clinch joints using FEM. 4th ESAFORM Conference on Material Forming 2001, (págs. 1-4). Liège, Belgium.

Schonberger, R. J. (1997). *Manufactura de Categoría Mundial*. Bogotá: Editorial Norma S.A.

Trebilcock, B. (2011). To automate or not to automate. *Modern Materials Handling*, 16-21.

Vallejo, M., & Vallejo, S. (2005). Aspectos generales de la automatización industrial del sector farmacéutico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 47-63.





# TRANSFORMACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO MUNDIAL

**Juan C. Salavarieta**, Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

**Abstract**— Desde hace ya varios años, el mundo ha visto como su sistema energético ha sido afectado por factores ambientales, económicos, tecnológicos y demográficos. Los avances tecnológicos en materia de generación, transmisión y distribución de energía han producido una disminución en los precios de este tipo de sistemas, al igual que un conocimiento cada vez mayor de los riesgos financieros y una visión más amplia de los beneficios de este tipo de iniciativas. El siguiente artículo es un extracto de los estudios por parte del IRENA (Agencia Internacional de las Energías Renovables) y el EIA (Administración de Información de Energía) en donde plantean la transformación que ha sufrido la cadena de valor de la energía eléctrica y cómo afrontar los retos ambientales, económicos y sociales en torno a las energías renovables.

**Index Terms**— Energía Renovable, costo de capital, consumo de energía, potencial energético.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las transformaciones en el mundo energético son derivadas principalmente por la necesidad de preservar la seguridad energética de los países, procurando la conservación y sostenibilidad del medio ambiente. En las últimas 4 décadas la población mundial se ha incrementado de 4 mil millones a 7 mil millones de personas, a su vez, estudios demográficos demuestran que hay una mayor migración hacia las ciudades, lo que representa un consumo mayor de energía eléctrica y la necesidad de proveer de mejores servicios públicos a las ciudades; es por eso que durante ese mismo periodo el consumo de electricidad se ha incrementado en más del 250% (IRENA, 2014).

Siguiendo con esta tendencia para el año 2030, la población a nivel mundial pasará la barrera de los 8 mil millones de los cuales 5 mil millones estarán concentrados en centros urbanos. En términos de generación de energía eléctrica se incrementará la producción en un 70% hasta llegar en el 2030 a 37mil (TWh) teravatios/hora tal como lo indica la Fig. 1.

En la actualidad la tesis de no invertir en proyectos asociados con energías renovables por sus altos costos puede que no sea la más apropiada, ya que la industria asociada en muchos campos tecnológicos, está llegando a niveles económicos y técnicos de maduración, lo que lleva a las empresas a ser más competitivas mientras se minimizan las barreras de entrada del mercado lo que ha permitido un crecimiento de la industria (EIA, 2014).

Esta capacidad de generación representa un gran costo, sobretudo en términos ambientales ya que para el año 2030 el promedio de emisiones de dióxido de carbono se reducirá en una proporción pequeña, del orden de 498g/KWh, lo cual no es suficiente para prevenir un cambio climático severo lo que significa emisiones de CO2 inferiores a 450ppm.

Lo anterior no es un panorama alentador; se deben ahondar esfuerzos, para evitar dramáticas disminuciones en la calidad de vida de las personas debido al deterioro ambiental. Este artículo muestra como desde la institucionalidad, se invierte en proyectos de energía renovable y cuál es el potencial de las tecnologías asociadas con la energía renovable existente.

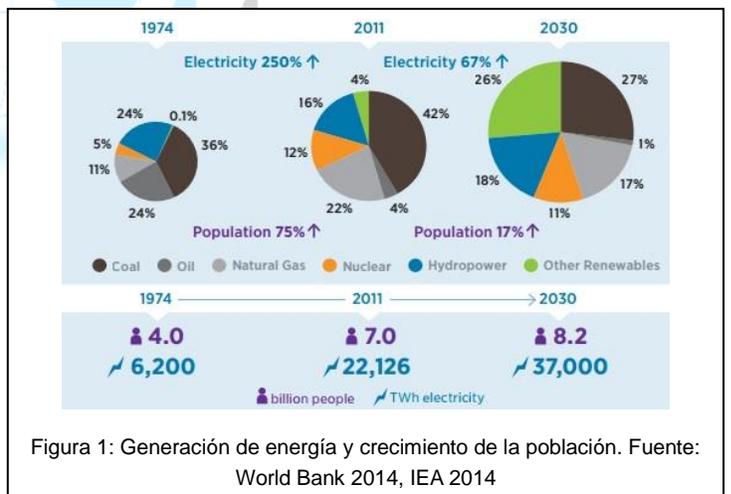


Figura 1: Generación de energía y crecimiento de la población. Fuente: World Bank 2014, IEA 2014

## 2. FINANCIACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Para el desarrollo de proyectos de generación de energía que involucren energía renovable, se debe tener en cuenta que son actividades que requieren una alta inversión en tecnología en relación con sus costos de operación; es por esta causa que la viabilidad de este tipo de proyectos depende del costo de capital. De ahí que las inversiones, por lo general, se hacen con ayuda de recursos estatales y subvenciones, necesarias para que sea competitivo el valor de la electricidad generada en los mercados respectivos (IRENA, 2014).

Sin embargo, como mencionamos anteriormente, la maduración del mercado permite la entrada del financiamiento privado, el cual puede prever mejores flujos de caja y en conjunto con el sector bancario, puede calcular de manera más precisa los riesgos financieros; a su vez, los proyectos se ejecutan atendiendo necesidades específicas, procurando un retorno sobre la inversión en menor tiempo. De esta manera, el costo de capital disminuye y los proyectos empiezan a satisfacer necesidades de nicho, desde la posibilidad de generar energía para satisfacer pequeñas unidades residenciales, hasta la posibilidad de proveer de electricidad a regiones rurales no interconectadas.

La tabla 1 muestra cómo ha sido el papel de las instituciones fuentes de inversión para proyectos de energía renovables durante las fases de desarrollo tecnológico y crecimiento del mercado: Aunque las tendencias indican un mayor interés en invertir en nuevas tecnologías de generación de energía, el mundo se encuentra lejos de los niveles de inversión necesarios para mitigar el impacto ambiental de la generación de energía por medio de combustibles fósiles. La inversión (anual) en energía renovables se ha incrementado de 44 mil millones de dólares a 214.000 millones de dólares del año 2004 al 2013, cifra que sigue aún lejana de los 550.000 millones de dólares necesarios para duplicar la participación de las energía renovables en el mundo (EIA, 2014).

TABLA 1

FUENTES DE INVERSIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA RENOVABLE

| Institucion     | Promotores de Proyectos - Capital de Riesgo - Subvenciones                             | Bancos Comerciales - Instituciones Multilaterales                                 | Inversionistas Institucionales  |
|-----------------|--|---|---|
| Inversión       | Financiación temprana para proyectos a pequeña escala. Incluye proyectos demostrativos | Se busca eficacia demostrada de la tecnología. Aplicaciones a niveles más amplios | Refinanciación de activos ya instalados que cuenten con rendimientos demostrados (pretendiendo minimizar el riesgo) |
| Tasa de retorno | < 8%   | 4% - 10%  | >8%   |
| Costos          | < USD 50 Millones  | 50 - 500 USD Millones   | < USD 100 Millones  |

Fuente: (IRENA, 2014), (ICSU-LAC / CONACYT, 2010)

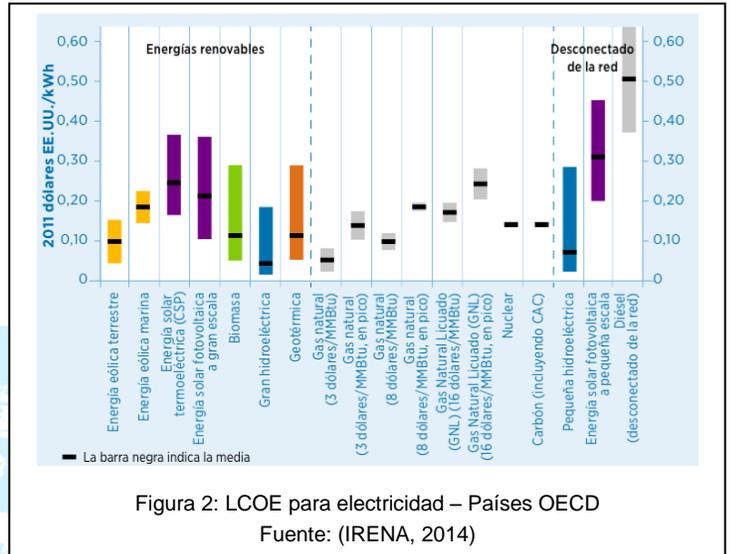
### 3. DISMINUCIÓN DEL COSTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

En términos de generación de energía, fuentes como la hidroeléctrica y la biomasa, han sido competitivas a través del tiempo, sin embargo, la energía eólica y solar (tanto térmica, como fotovoltaica) se han visto rezagadas frente a la generación por medio de combustibles fósiles como el carbón y el gas.

En la última década, este escenario ha cambiado gracias a que las tecnologías asociadas con el aprovechamiento del viento y la irradiación solar han adquirido cada vez más eficiencia y sostenibilidad, generando cada vez más electricidad en ambientes menos aptos, como por ejemplo zonas con poca irradiación solar o baja velocidad del viento. A su vez, las tecnologías asociadas con el almacenamien-

to de energía mejoran día a día, haciendo más óptima la distribución de la electricidad. El avance tecnológico se ha logrado gracias a las ayudas económicas por parte de los gobiernos en Europa y Estados Unidos y el soporte de China como potencia industrial, lo que ha disminuido el costo de los equipos y materiales, reflejándose en la disminución del costo de generación (IRENA b, 2013).

La Fig. 2 muestra un comparativo del costo de generar energía (costo normalizado de electricidad) LCOE – por sus siglas en inglés, por tipo de generación y su conexión a la red.



A continuación se puede tomar como ejemplo el avance en participación en el mercado la energía solar fotovoltaica.

### 4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, EJEMPLO DE DESARROLLO DE UNA TECNOLOGÍA

Desde el 2008 la energía fotovoltaica ha disminuido su precio en casi un 80% y las tendencias indican que seguirá disminuyendo como lo indican las cifras en países como Alemania, España e Italia en donde ya alcanzan precios de paridad con energías convencionales; a nivel Latinoamericano, México y Chile son los países con proyectos más avanzados con este tipo de tecnología (ICSU-LAC / CONACYT, 2010). La Fig. 3 muestra la tendencia en la disminución del precio del KV generado por energía fotovoltaica en instalaciones residenciales y pequeñas empresas, lo cual demuestra el potencial de crecimiento en nichos específicos.

Tanto México como Chile iniciaron esfuerzos desde los años 90 en el desarrollo de proyectos de generación por medio de energías alternativas, lo que hace que en la actualidad, gracias al desarrollo de la tecnología y un escenario de mercado maduro y estable que la energía fotovoltaica pueda competir cada vez más sin la intervención de subsidios por parte del Estado. Por ejemplo en Chile (en las regiones de Arica y Parinacota) se espera la construcción la de un parque solar de 70 MWel cual competirá directamente con generadoras tradicionales lo que representa un avance en el desarrollo de la tecnología al punto de competir en paridad con competidores que tradicionalmente cuentan con costos de capital mucho más bajos (Ministerio de Bienes Nacionales - Chile, 2013).

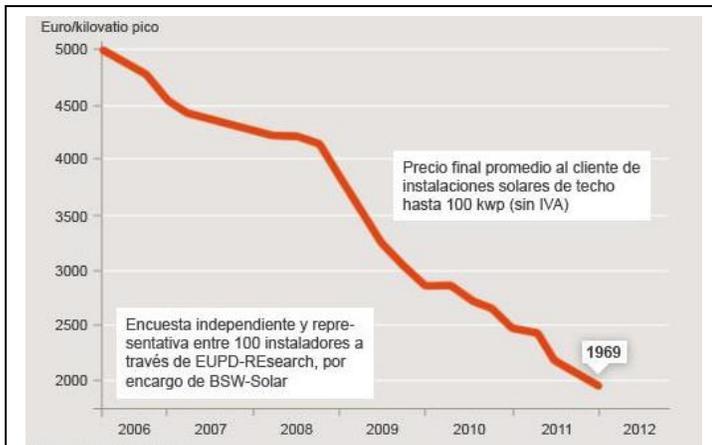


Figura 3: Instalaciones solares a nivel mundial 2006-2012 Fuente: (Kummetz, 2012), BSW-Solar / Solar Wirtschaft.de

A continuación se incluye el panorama a nivel global de las tecnologías y el potencial de aprovechamiento de acuerdo al sector correspondiente y su actividad económica.

## 5. TECNOLOGÍAS ASOCIADAS Y POTENCIAL DEL SECTOR DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA

La transformación de energía incluye el sector generador de electricidad, al igual que las industrias que procesan recursos fósiles (minas de carbón, refinerías). La Fig. 4 muestra el diferente potencial de las tecnologías que aprovechan recursos renovables en un horizonte hasta el año 2030 (IRENA b, 2013).

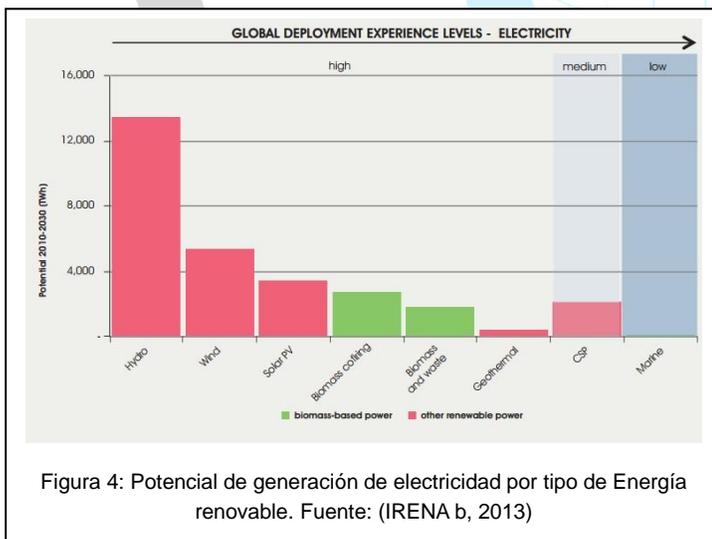


Figura 4: Potencial de generación de electricidad por tipo de Energía renovable. Fuente: (IRENA b, 2013)

### 5.1 HIDROELÉCTRICA

El potencial técnico para centrales hidroeléctricas está estimado en 3,721 GW, sin embargo de acuerdo con estudios de la IEA (2012) el escenario es más desalentador pues se espera una capacidad instalada de generación para el año 2030 de 1,742 GW.

### 5.2 EÓLICA

El escenario del aprovechamiento del viento para generar energía es más confuso. De acuerdo con la (EIA, 2009) se espera un nivel de

generación de 2,500 TWh, mientras que la (GWEC - Greenpeace, 2014) (Global Wind Energy Council) varía entre 4,251-6,678 TWh.

### 5.3 SOLAR FV (FOTOVOLTAICA)

Al igual que la energía eólica las proyecciones de energía FV varían considerablemente. La (EPIA, 2012) (European Photovoltaic Industry Association) calcula un potencial de generación entre 1,950 and 2,500 TWh mientras que la (EIA, 2010) calcula niveles entre 200-900 GW.

### 5.4 BIOMASA

El potencial de la biomasa para el año 2030 permanece en la incertidumbre. Se estima un potencial de generación global de 100 EJ (IRENA b, 2013). Existen barreras para el desarrollo de esta tecnología como la limitada concentración de tierra destinada para actividades agrícolas para la generación de biomasa y el alto nivel de protección ambiental en las legislaciones de varios países, a su vez, costos de transporte y almacenamiento aumentan los costos de capital. La generación de electricidad por biomasa debe contemplar soluciones para problemáticas específicas y de menor escala.

### 5.5 GEOTÉRMICA

La generación de electricidad por medio de energía geotérmica presenta un nivel de maduración alto. La (EIA, 2010) calcula una generación a escala global de 50 GWe y países como Japón o Kenia están trabajando proyectos con tecnologías asociadas que buscan generación entre los 4 GW y 5 GW.

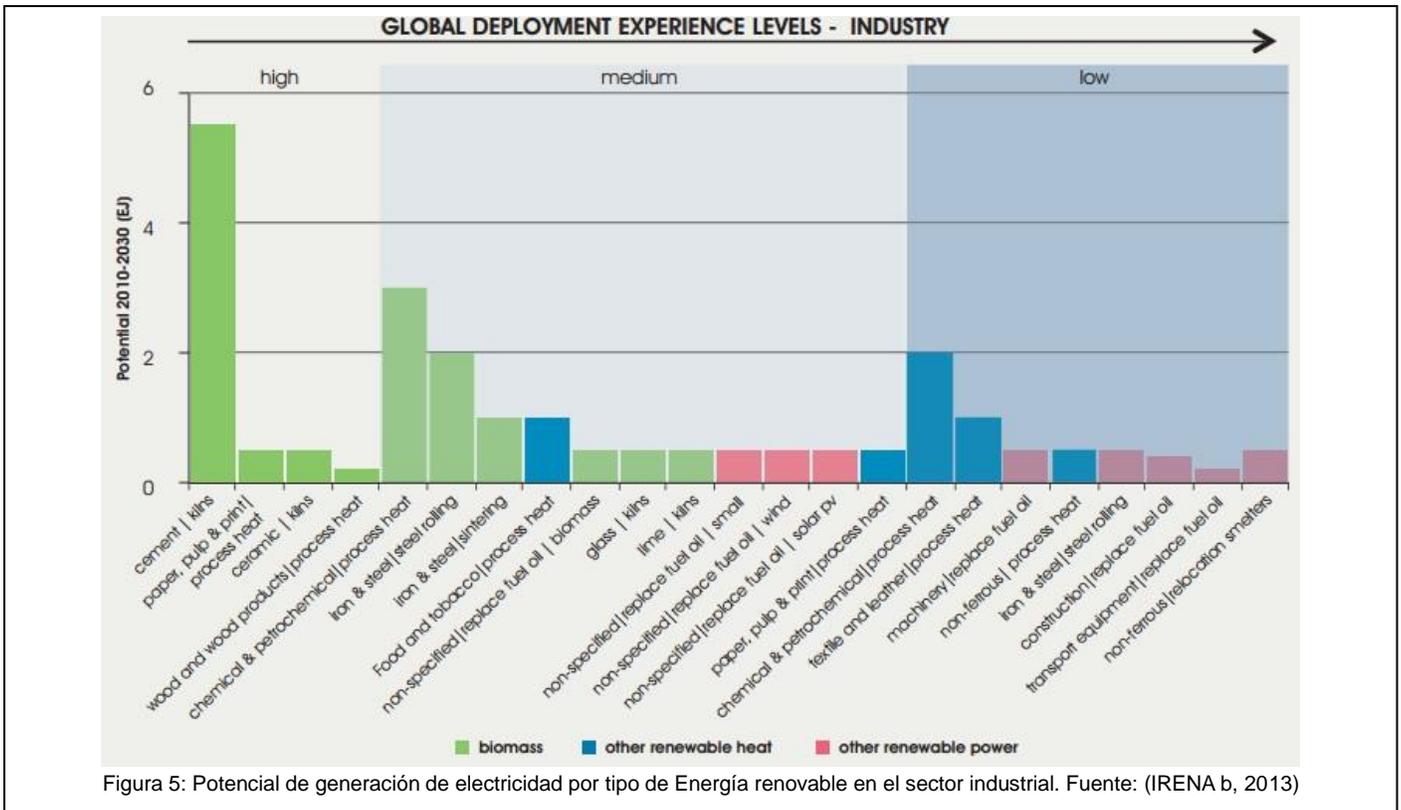
## 6. TECNOLOGÍAS ASOCIADAS Y POTENCIAL DE LA INDUSTRIA

La penetración de sistemas asociados con el uso de energías renovables en el sector manufacturero es inferior al 8% a nivel global (excluyendo redes nacionales alimentadas con energía renovable) y se espera, para mitigar efectos ambientales negativos que este porcentaje crezca a un 12% para el año 2030 (IRENA, 2014).

La Fig. 5 muestra un panorama global del potencial que tiene ciertas tecnologías a nivel industrial. En el sector se pueden aprovechar fuentes como la biomasa, calor residual y otra clase de energía como combustibles a base de alcoholes renovables.

Los anteriores resultados muestran que solo un pequeño porcentaje de subsectores del sector industrial tienen gran potencial del uso de energías renovables en sus actividades. Los más representativos son: el sector cementero (por medio de biomasa), el sector químico y petroquímico (biomasa y reúso de calor residual).

Es claro que existen medios de generación de energía mediante elementos renovables que no han sido explorados en su totalidad en el sector industrial. Es necesario ahondar en métodos de aprovechamiento de residuos como agua o vapor para satisfacer las demandas de energía en procesos específicos.



## CONCLUSIONES

El desarrollo de proyectos enfocados a la generación de electricidad por medio del aprovechamiento de recursos renovables debe ser prioridad en la agenda legislativa de los gobiernos. Estos proyectos deben ser cada vez más representativos en la mezcla energética de los países sin dejar a un lado la estabilidad, eficiencia y confiabilidad energética.

En países con mercados emergentes será de vital importancia la financiación por medio de recursos públicos mientras se sientan las bases para que la empresa privada y la banca de inversión encuentren escenarios de confianza financiera y política que les permita entrar con más fuerza al mercado. En los mercados emergentes la necesidad de una regulación clara y confiable será de vital importancia para permitir el fomento de este tipo de inversiones y asegurar un adecuado incentivo financiero a través de la venta de la energía generada a los sistemas de interconexión nacional y en casos de suministro directo a pequeñas comunidades y sectores industriales.

El reto hacia el futuro ya no radica en demostrar que las energías renovables pueden tener altos niveles de confiabilidad y eficiencia a costos moderados, sino, como desarrollar proyectos que promuevan la inversión en desarrollos tecnológicos cada vez más avanzados, lo que permitirá analizar los beneficios de las energías renovables en conjunto, mucho más allá de la técnica y la gobernanza, hasta tener en cuenta factores sanitarios, desarrollo rural y bienestar social.

## BIBLIOGRAFÍA

- EIA, 2009. World Energy Outlook 2009, Washington D.C.: Energy Information Administration.
- EIA, 2010. World Energy Outlook 2010, Washington D.C.: s.n.
- EIA, 2014. Annual Energy Outlook 2014, Washington D.C. : U.S. Energy Information Administration .
- EPIA, 2012. European Photovoltaic Industry Association, Bruselas: s.n.
- GWEC - Greenpeace, 2014. Global Wind Energy Outlook: 2000 gigawatts by 2030, Bruselas: Global Wind Energy Council.
- ICSU-LAC / CONACYT, 2010. Sustainable Energy in Latin America and the Caribbean: Potential for the Future, Rio de Janeiro: ICSU-LAC / CONACYT.
- IRENA b, 2013. IRENA REMAP 2030 - Doubling the Global Share of Renewable Energy A Roadmap to 2030, Abu Dhabi: IRENA Secretariat.
- IRENA, 2014. Rethinking Energy: Towards a new power system, Estados Unidos: International Renewable Energy Agency.
- Kummetz, P., 2012. Pablo Kummetz. DW- deutsche welle, 26 03, p. 2.
- Ministerio de Bienes Nacionales - Chile, 2013. Expo Energías Renovables Region de Arica y Parinacota , Santiago: s.n.



# TECNOLOGÍAS 4G LTE EN COLOMBIA: OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN PARA NUEVOS OPERADORES

Diego F. Zuluaga, Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

**Abstract**— Este artículo presenta algunos de los desafíos que deben afrontar los nuevos operadores 4G en el país y cómo estos pueden ser superados mediante desarrollo tecnológico e innovación. Para ello, se presentan las metas establecidas en el Plan VIVE Digital Colombia que motivaron las actuaciones gubernamentales que llevaron a la subasta para la asignación de licencias 4G, las características generales de las tecnologías involucradas con énfasis en aquellas orientadas a proporcionar soporte de voz cuando el usuario sale de la zona de cobertura 4G y cómo los nuevos operadores pueden lograr una rápida cobertura y despliegue de servicios aprovechando inteligentemente tanto los desarrollos tecnológicos como las oportunidades que brinda la regulación.

**Index Terms**— Tecnología 4G, Plan Vive Digital, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el marco de la política, lineamientos y ejes de acción a desarrollar por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) para los periodos de gobierno 2010-2014 y 2014-2018 definidos en el Plan Vive Digital Colombia, que busca promover el acceso, uso y apropiación masivos de las TIC, a través de políticas y programas para el logro de niveles progresivos y sostenibles de desarrollo en Colombia, se propone, entre otras metas, multiplicar el número de conexiones inalámbricas de tecnología 4G a través del desarrollo de infraestructura, en el marco conceptual definido por MINTIC como el “Ecosistema Digital”.

Este Ecosistema Digital constituye la base conceptual del plan y está conformado por cuatro componentes: infraestructura, servicios, aplicaciones y usuarios. El plan estimula estos cuatro componentes a través de la expansión de la infraestructura, la creación de nuevos servicios a menores precios, la promoción del desarrollo de aplicaciones y contenidos digitales y el impulso a la apropiación tecnológica por parte de los usuarios. De esta manera se crea un círculo virtuoso, en el que existe más demanda por parte de los usuarios, más aplicaciones para ellos, más y mejores servicios a precios más económicos, en una infraestructura moderna y de alta tecnología (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias, 2011). La Figura 1 muestra una representación gráfica del Ecosistema Digital.

Para lograr la masificación del uso de Internet a nivel nacional, el Plan Vive Digital propone, entre otras metas, multiplicar el número de conexiones inalámbricas 4G, consolidar los mecanismos de acceso a Internet por parte de todos los colombianos (en los cuales los servicios móviles 4G juegan un papel importante) y prestar cobertura 4G a todos los municipios de Colombia en 2018 (Vive Digital Colombia, 2014). Específicamente se plantean las siguientes metas para el año 2018 (Vive Digital Colombia, 2014):

mente se plantean las siguientes metas para el año 2018 (Vive Digital Colombia, 2014):

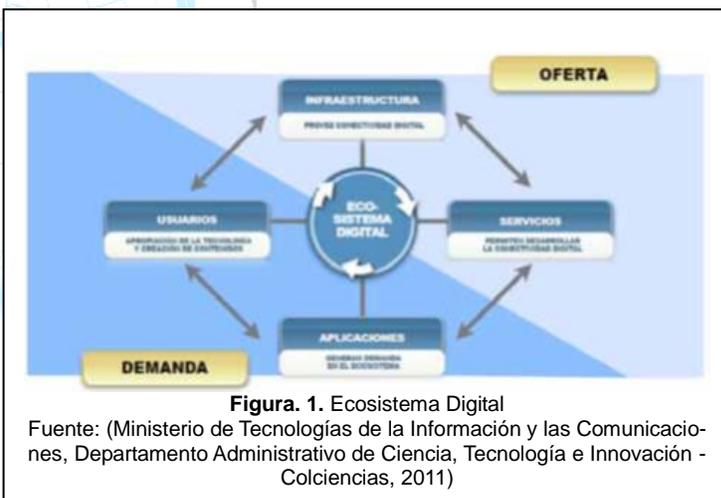


Figura. 1. Ecosistema Digital

Fuente: (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias, 2011)

**Cobertura de banda ancha:** Multiplicar por 3 el número de conexiones a Internet, pasando de 8.8 millones en 2014 a 27 millones de conexiones en 2018. La idea es llegar a niveles de acceso a Internet similares a los de Bélgica e Italia.

**Acceso a Internet.** Consolidar los mecanismos para el acceso a Internet por parte de todos los colombianos. Todos los municipios del país tendrán cobertura de servicios móviles de 4G, y zonas WiFi públicas gratuitas. Específicamente se pretende pasar de 57 municipios en 2014 a 1.123 en 2018.

**Porcentaje de población conectada a 4G:** La cobertura a junio de 2014 es de 40,46%, a final del año será del 50%. Con la tecnología de cuarta generación 4G, los colombianos gozan de una mayor velocidad de navegación en internet móvil lo

que permite acceso a multimedia y videojuegos en alta definición, mejora en videoconferencias y servicios como telemedicina. La meta es que en 2018 este indicador llegue al 100%.

**Servicio de Internet:** El servicio de Internet será de mejor calidad y para todos los colombianos. Se pretende aumentar la velocidad promedio de banda ancha de 1MB en 2014 a 4MB en 2018. Asimismo, se pretende pasar del 80% de colombianos que usan Internet en 2014 a 90% en 2018 (Vive Digital Colombia, 2014).

## 2. LAS GENERACIONES DE TECNOLOGÍAS MÓVILES

Muchos de los predecesores de las tecnologías de cuarta generación ya no están actualmente en uso, debido a sus limitaciones. Tecnologías de “generación cero” como *Push to Talk* eran sistemas de comunicación *half dúplex* que requerían del uso de palabras de procedimiento como “cambio” y “fuera”. Los sistemas de primera generación hacían uso de ondas análogas y cayeron rápidamente en obsolescencia, debido principalmente a la ausencia de encriptación.

Los sistemas de segunda generación (2G) hicieron uso del cifrado digital y servicios básicos de datos como el servicio de mensajes cortos (*short message service* – SMS). La tecnología 2G fue lanzada en 1991 en Finlandia (Veeramallu, Raghuveer, & Sairam, 2013). Esta tecnología habilita a las distintas redes de telefonía móvil con procesos para proporcionar los servicios tales como texto, mensajes con imágenes y MMS (mensajes multimedia). Los mensajes de texto se encriptan digitalmente. Las tecnologías dominantes 2G son TDMA (*Time Division Multiple Access*) o CDMA (*Code Division Multiple Access*). Mientras TDMA divide las señales en ventanas de tiempo, CDMA asigna a cada usuario un código especial para comunicarse a través de un canal físico multiplexado. Entre las diferentes tecnologías TDMA se cuentan GSM, PDC, iDEN, e iS136. GSM (*Global System for Mobile communications*) fue desarrollado por el ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones – *European Telecommunications Standard Institute*) y es el estándar más difundido en telecomunicaciones con una penetración de más de 212 países (Veeramallu, Raghuveer, & Sairam, 2013). La tecnología GSM fue la primera que permitió establecer *roaming* internacional.

Los sistemas de tercera generación (3G) ofrecen mayor seguridad y mejor calidad para servicios como televisión móvil o GPS. 3G utiliza CDMA y TDMA.

Los sistemas de cuarta generación (4G) proveen soluciones IP donde voz datos y multimedia “*streamed*” pueden ser entregados a los usuarios en cualquier momento y lugar (Datta & Kaushal, 2014). En la Figura 2 se puede apreciar la eficiencia en el uso de la red de datos 4G LTE frente a otras tecnologías, permitiendo mayor velocidad de descarga, lo que generará menor uso del ancho de banda por parte de los usuarios y mejor calidad de servicio en la entrega de contenidos digitales, ya que la latencia se reduce y permite minimizar las pérdidas de los datos solicitados.

| Tipo de tecnología    | 2G          | 3G          | 3G HSPA     | HSPA+       | 4G LTE       |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Navegación página web | 36 segundos | 4 segundos  | 1 segundo   | Inmediato   | Inmediato    |
| Canción de 5MB        | 12 minutos  | 1.5 minutos | 20 segundos | 9 segundos  | 3 segundos   |
| Vídeo 25MB            | 1 hora      | 6.5 minutos | 1.5 minutos | 40 segundos | 15 segundos  |
| Películas 750 MB      | 30 horas    | 3.25 horas  | 50 minutos  | 20 minutos  | 7.5 minutos  |
| Películas HD          | 10 + días   | ~ 1 día     | ~ 6 horas   | ~ 2 horas   | ~ 25 minutos |

**Figura. 2.** Velocidad de Descarga según Tecnología  
Fuente: (Aristizábal, 2012)

### LTE: LONG TERM EVOLUTION

La cuarta generación (4G) de tecnologías inalámbricas conocida como *Long Term Evolution* (LTE) permite a los operadores celulares utilizar espectro nuevo y más amplio y componentes que las redes 3G con velocidades de datos de usuario más altas, menor latencia y una arquitectura de red plana basada en IP (*Internet Protocol*). El estándar LTE se publicó por primera vez en marzo del 2009 como parte del *Third Generation Partnership Project* (3GPP) *Release 8* (Bjerke, 2011). Las especificaciones han estado en desarrollo desde 2005, cuando 3GPP LTE definió requisitos y metas de desempeño para mejorar de manera significativa en el estándar 3GPP *Release 6*, que era en ese momento el estado del arte. El logro de estos objetivos requiere una evolución de la interfaz de aire y la arquitectura de la red, ahora conocidos como E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y EPC (*Evolved Packet Core*), respectivamente. Las primeras redes LTE comerciales fueron desplegadas (a escala limitada) en Escandinavia a finales de 2009 (Bjerke, 2011).

LTE *Release 8* es una de las principales tecnologías de banda ancha basados en OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*), que se está comercializando actualmente. LTE *Release 8*, se despliega en un diseño macro / microcelda y proporciona una mayor capacidad del sistema y cobertura, altas velocidades pico de datos, baja latencia, reducción de costos de operación, soporte multi-antena, ancho de banda adaptativo e integración transparente con los sistemas existentes (Ghosh, Ratasuk, Mondal, Mangalvedhe, & Thomas, 2010). Proporciona velocidades de datos pico alto de 300 Mb / s en el enlace descendente (DL) y 75 Mb / s en el enlace ascendente (UL) para un ancho de banda de 20 MHz, y permite el funcionamiento de ancho de banda flexibles de hasta 20 MHz. En LTE *Release 8*, el esquema de acceso múltiple de DL es OFDM mientras que el esquema de acceso múltiple para el UL es SC-FDMA. LTE *Release 8* también es compatible con ancho de banda escalable hasta 20 MHz (Ghosh, Ratasuk, Mondal, Mangalvedhe, & Thomas, 2010).

### SERVICIO DE VOZ SOBRE LTE

LTE solo soporta servicios basados en paquetes. Todas las conexiones entre los terminales móviles y las redes son con-

xiones IP extremo a extremo. Por lo tanto, el servicio de llamadas de voz, (el servicio más importante de conmutación de circuitos) debe reemplazarse con tecnología VoLTE (*voice over LTE*). Aunque el objetivo final es claro, el camino de transición hacia la tecnología de voz sobre LTE sigue siendo objeto de debate. Existen varias soluciones planeadas o ya ejecutadas por diversos operadores de telefonía móvil (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013). Uno de los aspectos problemáticos consiste en proporcionar soporte de voz o tener continuidad de voz cuando el usuario se mueve fuera de la cobertura LTE (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014).

Incluso con la disminución de la participación en el mercado de las telecomunicaciones del servicio de llamada de voz, este sigue siendo la principal fuente de ingresos para los operadores móviles. El volumen del tráfico de datos ha superado el tráfico de voz en la mayoría de las redes móviles durante los últimos años (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). Se espera que alcance el 95% para el año 2015 (Malik, 2012), pero el servicio de llamadas de voz siga contribuyendo con más del 50% de los ingresos totales (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). Esto va a cambiar a favor del tráfico de datos en los próximos 3 a 5 años (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). Sin embargo, teniendo en cuenta el tamaño de la industria móvil, la llamada de voz se mantendrá vigente por mucho tiempo.

Antes de revisar diferentes soluciones para manejar las llamadas de voz en redes LTE, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- LTE ya tiene una solución de llamada de voz bien definida y planeada desde el principio (VoLTE) (Poikselka, Holma, Toskala, Hongisto, & Kallio, 2012).
- Incluso sin VoLTE hay muchas aplicaciones de terceros que están proporcionando una solución aceptable para el servicio de llamadas de voz en forma de software libre de VoIP instalado en los teléfonos inteligentes (Viber, Skype y otros).

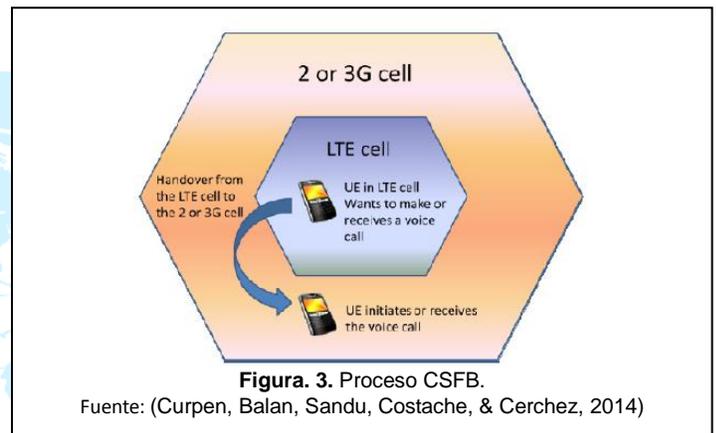
En combinación con el servicio de datos de LTE, estas aplicaciones podrían ser suficientes para muchos usuarios LTE. Sin embargo, ambas soluciones tienen ciertas restricciones. La primera de ellas, VoLTE, requiere de IMS (IP Multimedia Subsystem). IMS fue elegido como la arquitectura para servicios de comunicación de voz y multimedia para LTE. Aunque IMS no es una tecnología nueva, no ha sido adoptada tan ampliamente como los expertos predijeron hace años, cuando LTE estaba en borradores, debido básicamente a los costos y la complejidad de IMS. Por lo tanto, VoLTE no se implementó como la primera y única solución para el servicio de llamadas de voz. Esto puso a los operadores a buscar soluciones de transición donde la reutilización de los equipos existentes era el imperativo (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013).

Respecto al segundo punto, denominada la solución *Over The Top (OTT)* donde el software de terceros se utiliza para las llamadas de voz, convertiría a los operadores móviles en proveedores de servicios de datos únicamente (con respecto a las redes LTE), lo que conllevaría a la destrucción del actual

modelo de negocio donde una relativamente pequeña cantidad del tráfico (10 a 20%) generado por el servicio de voz sigue generando la mayoría de los ingresos.

A continuación se describen brevemente algunas de las soluciones tecnológicas que se han considerado para la prestación de servicios de voz en redes LTE.

**Circuit Switched Fall Back (CSFB):** Esta solución se basa en la premisa de que existe cubrimiento 2G o 3G en el área LTE (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). CSFB realiza un *handover* a la red 2G o 3G siempre que el usuario LTE recibe o inicia una llamada. La figura 3 muestra el modelo del procedimiento de *fall back*.



Este esquema se denomina CS *fallback* (CSFB) porque hay un "retorno" (*fallback*) a la tecnología "inferior". Para proporcionar servicios de CS, LTE reutiliza la infraestructura 2G/3G. Esto la convierte en una solución preferida desde la perspectiva de negocio porque se basa en las tecnologías en las que ya se ha invertido y licenciado para los próximos años con el equipo existente y en operación.

**Voice over LTE via Generic Access (VoLGA):** El Volga se basó en el estándar 3GPP GAN (*Generic Access Network*). GAN ofrece un nodo controlador – GANC (GAN controller) – insertado entre la red de acceso IP y el núcleo de red 3GPP. La GAN proporciona un acceso de superposición entre el terminal y el núcleo CS sin necesidad de mejoras o soporte específicos en la red que atraviesa. Esto proporciona un terminal con una conexión "virtual" a la red central ya desplegada por un operador. El terminal y la red así reutilizan la mayor parte de los mecanismos existentes, la implementación y los aspectos operativos. Ver Figura 4.

**Voz y LTE simultáneos (Simultaneous Voice and LTE - SV-LTE):** SVLTE se basa en los terminales móviles que contienen sistemas de radio dual, donde uno se utiliza para el tráfico de datos únicamente, sobre LTE, mientras que el segundo se utiliza para voz CS haciendo un llamamiento a la red 2G / 3G. No existen requisitos sobre la propia red. La desventaja de esta solución es alto consumo de energía y el aumento del costo de producción de este tipo de terminales (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013).

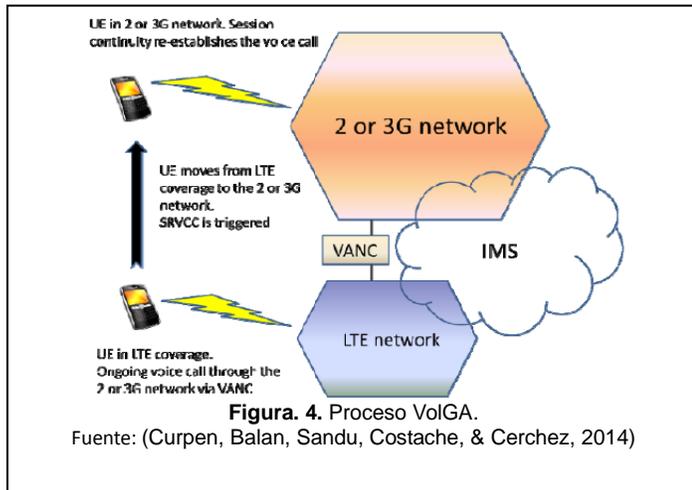


Figura 4. Proceso VoLGA.

Fuente: (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014)

**Over The Top Content (OTT):** OTT es un escenario en el que el proveedor de servicios de telecomunicaciones ofrece solo servicios de datos a través de redes IP, y las soluciones de voz se presta a través de software de terceros, como se mencionó. Algunos operadores de telefonía móvil inicialmente trataron de bloquear servicios como Skype, Viber, etc., pero pronto se dieron cuenta de que la única manera de competir es ofrecer soluciones alternativas de mejor calidad a los clientes. Además de las connotaciones negativas para el negocio de los operadores, este escenario tiene una desventaja significativa para los usuarios: cada cliente debe instalar todas las aplicaciones utilizadas por sus contactos y mantener un conocimiento de "quién está utilizando qué aplicación". Sin embargo, cuanto más tiempo se tarda en implementar VoLTE, los proveedores de servicios OTT VoIP pueden hacerse más fuertes (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013).

**Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC):** SRVCC implica cambios a la MSC, MME y UE. El requisito principal para la solución SRVCC se conoce como "solución de la llamada en el servidor de aplicaciones", es decir, la UE tiene que empezar una llamada de voz utilizando el IMS en la red LTE y el servidor de aplicaciones (AS) tiene que ser implementado en el circuito de señalización IMS durante el establecimiento de la sesión llamada de voz. La figura 5 presenta la arquitectura de solución SRVCC.

Esencialmente, esta solución es una mezcla de procedimientos: el procedimiento de *handover* en la red de acceso, y el procedimiento de continuidad de la sesión IMS en el IMS. El eNodeB recibe una bandera "operación SRVCC posible" de la MME (*Mobility Management Entity*) durante los procedimientos de gestión de la movilidad, mientras que la propia MME ha recibido el anuncio de capacidad SRVCC del equipo del usuario (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014).

## PROCESO DE SUBASTA 4G

Para dar cumplimiento a los lineamientos del plan VIVE Digital

descritos, el MINTIC, en conjunto con la Agencia Nacional del Espectro (ANE) y la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), adelantaron desde el 22 de marzo de 2012 el proceso para asignar -a través del mecanismo de subasta- permisos para uso del espectro radioeléctrico en donde funcionarán las redes de cuarta generación, más conocida como 4G (MINTIC, 2013). MINTIC definió las condiciones para el proceso de subasta mediante la Resolución 449 de 2013.

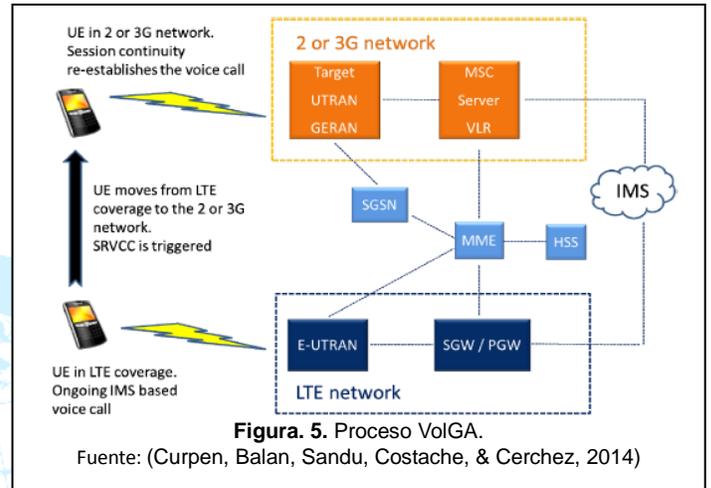


Figura 5. Proceso VoLGA.

Fuente: (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014)

El 26 de junio de 2013 se realizó la subasta de la banda 4G. Entre las condiciones de la subasta se contaban (Enter.co, 2013):

- El pago de contado por el espectro en la medida en que el espectro este libre
- La no cesión de espectro en los primeros 5 años (después de esos cinco años se necesita aprobación del Ministerio para venderlo)
- La obligación por parte de los operadores establecidos (Claro, Movistar, Tigo) de compartir infraestructura con las compañías entrantes; y la restricción de ofertas comerciales que limiten la libre competencia, entre otras.

El ministro Diego Molano aseguró que con la subasta esperaban recaudar un mínimo de 450.000 millones de pesos (Enter.co, 2013). Se recogió en total una suma cercana a los 770.539 millones de pesos, un 70% más que el cálculo "conservador" que había revelado previamente (Enter.co, 2013).

Uno de los resultados más notables del proceso, que se aprecia en la Tabla 1 es la entrada en el mercado de la telefonía celular de dos nuevos operadores: Direct TV y AVANTEL que entrarán a competir con los operadores establecidos Claro, ETB –Tigo y Movistar.

## 3. RETOS PARA LOS NUEVOS OPERADORES 4G LTE

Los nuevos operadores 4G, además de dar cumplimiento a los estrictos requerimientos regulatorios, deben alcanzar objetivos de negocio y contribuir al logro de objetivos del plan VIVE Digital. Estos operadores deben preparar y desplegar su infraestructura para ingresar a un mercado altamente compe-

**TABLA 1**  
RESUME LOS RESULTADOS DE LA SUBASTA 4G.

| Empresa       | Bloque adjudicado   | Valor total<br>\$770.530.882.800       | Cobertura en<br>cabeceras munici-<br>pales |
|---------------|---|--|--|
| Claro         | Banda 2.500 MHz<br>Bloque abierto de<br>30 MHz                        | \$ 119.995.866.000                     | 660  |
| Direct<br>TV  | Banda 2.500 MHz<br>Bloque abierto de<br>30Mz y reservado<br>de 40 MHz | \$ 71.856.366.000<br>\$ 77.565.288.000 | 57   |
| Avantel       | Banda AWS<br>Bloque reservado   | \$ 107.464.140.000                     | 57   |
| ETB -<br>Tigo | Banda AWS<br>Bloque abierto   | \$ 195.749.940.000                     | 144  |
| Movistar      | Banda AWS<br>Bloque abierto   | \$ 197.899. 222.800                    | 255  |
| Azteca        | Sin asignación  |  |  |

Fuente: Adaptado de (Enter.co, 2013)

titivo, frente a operadores establecidos (incumbentes) que los aventajan significativamente en número de usuarios actuales, capacidad instalada y cobertura. Algunos de estos operadores tienen posición de dominio de mercado y cabe esperar una reacción fuerte frente a los nuevos entrantes en el mercado. Por lo tanto, AVANTEL y Direct TV deben implementar acciones que maximicen las posibilidades de éxito en este mercado a través del desarrollo tecnológico, apropiación de nuevas tecnologías e innovación. Entre los factores de éxito para lograr este propósito se cuentan:

- Un despliegue rápido y transparente de una red avanzada que pueda prestar servicios de voz y datos de alta calidad
- Implementar servicios que se puedan desplegar rápidamente y brinden una excelente experiencia de usuario final
- Optimización de procesos que soporten la gestión y operación de los nuevos servicios

Un desafío notable que están encarando los nuevos operadores consiste en la limitada infraestructura y cobertura de sus redes actuales dado que no cuentan con infraestructura previa 2G y 3G que le permita apalancar el despliegue de cobertura 4G. Sin embargo, teniendo en cuenta que la Resolución 449 de 2013 obliga a los operadores establecidos a la compartición de su infraestructura y a ofrecer roaming a los operadores entrantes, estos operadores pueden utilizar estas condiciones para lograr rápidamente coberturas significativas utilizando la red de otros operadores de manera innovadora. Para servicios de voz, por ejemplo, puede optarse por la prestación directa sobre la red LTE utilizando la tecnología IMS (*IP Multimedia Subsystem*), pero solo se podría prestar servicios de voz donde haya cobertura 4G LTE. Sin embargo, la posibilidad de utilizar infraestructura existente 2G y 3G para la prestación de estos servicios (establecida por la regulación), permite a los operadores entrantes prestar servicios de voz rápidamente mediante utilización de tecnologías como CSFB mediante el esquema conexión-desconexión, sin descartar en el largo plazo la prestación de servicios de voz VoLTE. La vali-

dación y demostración inicial de este tipo de roaming con redes 2G y 3G debe realizarse en distintas localidades geográficas con múltiples operadores y múltiples fabricantes para asegurar la interoperabilidad con las distintas redes en la búsqueda de optimizar el desempeño. De los operadores de redes LTE en Colombia AVANTEL utilizará esta tecnología para la prestación de servicios de voz interoperando con redes de terceros operadores, lo cual representa un desafío técnico de gran envergadura.

Respecto a la prestación del servicios de datos, en zonas de no cobertura de la red LTE de los nuevos operadores, nuevamente se puede acudir a la utilización de infraestructura 2G y 3G de los operadores establecidos. Asimismo, el despliegue y operación de esta infraestructura genera nuevos retos para los operadores entrantes debido a la complejidad de la nueva plataforma, por lo que se requiere adecuar los procesos y realizar desarrollos en los sistemas de información para soportar la operación y gestión de la red y del negocio.

## CONCLUSIÓN

En este artículo se presentaron brevemente los antecedentes y resultados del proceso de subasta para la asignación de permisos para el uso del espectro radioeléctrico en donde funcionan las redes de cuarta generación en el país, se describieron algunos retos que enfrentan los nuevos operadores y se presentaron brevemente las tecnologías involucradas. Se describió cómo estos operadores pueden afrontar estos desafíos a través de desarrollo tecnológico e innovación. Se destaca que la obligación por parte de los operadores establecidos de compartir infraestructura con las compañías entrantes juega un papel relevante para que estas últimas puedan lograr cobertura rápidamente mediante la implementación de soluciones innovadoras basadas en desarrollos tecnológicos en el estado del arte. Es un ejemplo claro de cómo una regulación inteligente puede generar condiciones para incentivar el desarrollo tecnológico y la innovación en una industria.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aristizábal, A. (2012). 4G LTE: Celulares a una velocidad 10 veces mayor. Bogota D.C.: Bancolombia.
- Bjerke, B. A. (Octubre de 2011). LTE-Advanced and the Evolution of LTE Deployments. IEEE Wireless Communications, 4-5.
- CINTEL. (2012). Dinámica Sectorial de los Mercados de las Industrias TIC. Bogotá, D.C., Colombia.
- Curpen, R., Balan, T., Sandu, F., Costache, C., & Cerchez, C. (2014). Demonstrator for Voice Communication over LTE. 10th International Conference on Communications (COMM) 2014, (págs. 1-4). Bucarest, Rumania.
- Datta, P., & Kaushal, S. (2014). Exploration and comparison of different 4G technologies implementations: A survey. Proceedings of 2014 RA ECS UIET, (págs. 1-6). Chandigarh,.
- Enter.co. (2013). Cifras y reacciones de la subasta 4G. Obtenido de Enter.co: <http://www.enter.co/cultura-digital/colombia-digital/cifras-y-reacciones-de-la-subasta-de-4g/>
- Enter.co. (2013). La subasta de la banda 4G tendrá lugar el 26 de

- junio. Obtenido de Enter.co: <http://www.enter.co/cultura-digital/colombia-digital/la-subasta-de-la-banda-4g-tendra-lugar-el-26-de-junio/>
- Ghosh, A., Ratasuk, R., Mondal, B., Mangalvedhe, N., & Thomas, T. (Junio de 2010). LTE-Advanced: Next-Generation wireless broadband technology. *IEEE Wireless Communications*, 10-22.
- López, N. (2011). EFECTO DE LAS REDES DE CUARTA GENERACIÓN (LTE) EN LOS SERVICIOS MÓVILES EN CHILE . SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Malik, O. (29 de Abril de 2012). Mobile data is growing, but voice & sms slowing. Obtenido de Mobile data is growing, but voice & sms slowing - Tech News and Analysis: <http://gigaom.com/2012/04/29/as-mobile-data-zoomsvoice->
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias. (2011). *Vive Digital Regional: Manual de Operación*. Bogotá.
- MINTIC. (2013). Condiciones de Subasta - Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Obtenido de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-1082.html>
- Poikselka, M., Holma, H., Toskala, A., Hongisto, J., & Kallio, J. (2012). *Voice over LTE VoLTE*. John Wiley & Sons: Reino Unido.
- Tekovic, A., Pesut, I., & Moric, Z. (2013). Voice Service in an LTE Network- CSFB. 55th International Symposium ELMAR-2013, (págs. 251-254). Zadar, Croatia.
- UIT. (2014). Statistics. Obtenido de ITU: Committed to connecting the world: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
- UK, I. (2013). *LTE Roaming: Global Market Status and Drivers for Growth*. Londres: Informa UK.
- Veeramallu, B., Raghuvver, A., & Sairam, U. (Enero de 2013). Analyzing the Generations of Mobile Technology. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2(6), 467-470.
- Vive Digital Colombia. (15 de Agosto de 2014). Plan Vive Digital 2014-2018. Obtenido de <http://www.vivedigital.gov.co/2014-2018/>
- 



**Empresa Colombiana de Innovación**

COLINNOVACION SAS

contacto@colinnovacion.com  
Teléfonos: 57 (1) 6725048 – 5261088  
Skype: colinnovacion  
Carrera 20 No 184 – 48 local 4  
Bogotá, Colombia.  
<http://colinnovacion.com/>

Síguenos en:  y 

Desde el ciclo de la innovación, no existe en el mercado ninguna firma de consultoría especializada que pueda brindarles una experiencia específica en el sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación (SNCTI) como la de COLINNOVACION S.A.S.