

Influencia sobre el Factor de Emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado debido al Ingreso de la Central Coca Codo Sinclair

J. Oscullo[†]

V. Cárdenas[‡]

[†] Consultor Sector Eléctrico

[‡] Centro Nacional de Control de Energía - CENACE

Resumen— La producción de energía eléctrica por tecnologías que utilizan combustibles fósiles contribuyen con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que ha provocado cambios en las variables climáticas como la temperatura y el nivel de precipitaciones, fenómeno comúnmente conocido como Cambio Climático.

Para enfrentar este fenómeno que tiene influencia a nivel mundial, la Organización de Naciones Unidas (ONU) a través de negociaciones entre los países, implementó el Protocolo de Kioto, el mismo que comenzó a regir desde el 2007 con carácter vinculante, con el objetivo de reducir las emisiones de GEI de los países desarrollados respecto a una línea base de emisiones del año 1990.

Un esquema de reducción de emisiones es el que permite la participación mediante proyectos de los países en desarrollo, conocido en el mercado de carbono como “*Mecanismo de Desarrollo Limpio*” (MDL). Así, los países desarrollados que excedan las emisiones de CO₂, podrán cumplir con sus compromisos de reducción, invirtiendo en proyectos que contribuyan al desarrollo del país anfitrión del proyecto y a su vez reduce emisiones de GEI, aprovechando la característica global del fenómeno de cambio climático.

El MDL para el desarrollador del proyecto permite transformar la reducción de emisiones de CO_{2eq} en Certificados de Reducción de Emisiones (CERs), los cuales tienen un reconocimiento económico.

Bajo esta perspectiva el estado Ecuatoriano ha establecido políticas de adaptación y mitigación al cambio climático; convirtiéndose el sector eléctrico en un área estratégica para este propósito, por medio de la transformación hacia una matriz eléctrica económica y ambientalmente sustentable aprovechando las oportunidades brindadas por el MDL, en los diferentes proyectos tanto de generación como de demanda de la misma.

Uno de los proyectos que permitirán la transformación de la matriz eléctrica, es el proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair de una capacidad nominal de 1500 MW con un aporte de energía anual de 8743 GWh, el mismo que al utilizar un recurso renovable para producir energía eléctrica desplaza el uso de centrales térmicas para abastecer la demanda, es decir, reduce las emisiones de CO₂ emitidas al ambiente por parte del sector eléctrico, las mismas que pueden “transformarse” en CERs, siempre y cuando el proyecto cumpla con los requerimientos y requisitos planteados en el “*Ciclo MDL*”, el cual para determinar la cantidad de emisiones de CO₂ de reducción del proyecto se realiza por medio del factor de emisión de CO₂ del sistema al cual inyecta la producción de energía.

Mediante este estudio se presenta la evolución del factor de emisión de CO₂ de la red eléctrica del Ecuador la cual se denomina “*Sistema Nacional Interconectado*” (SNI), durante el periodo 2011-2020, siendo el año 2016 fecha de ingreso del proyecto Coca Codo Sinclair. La Junta Ejecutiva del MDL, proporciona metodologías para la determinación del factor en el caso de la inyección de producción hacia una red eléctrica, denominada “*ACM0002*”. La misma que requiere información de energía y características de combustibles individualizada por centrales y unidades de la red eléctrica para el periodo de análisis, esto se lo realiza por medio del programa SDDP®.

Palabras clave— cambio climático, mecanismo de desarrollo limpio, factor de emisión de CO₂, mercado de carbono.

1. SECTOR ELÉCTRICO Y CAMBIO CLIMÁTICO

Los sistemas eléctricos a más de producir la energía requerida para el desarrollo de las actividades en una sociedad moderna, situación que demanda el consumo de recursos de la naturaleza, a una elevada tasa; con lo cual el sector eléctrico, produce efectos contraproducentes al normal

equilibrio de la naturaleza, que de acuerdo a cifras de la AIE¹ aporta con el 25% del total de emisiones de CO₂. En el año 2011 la matriz energética mundial se basó en un 78% en tecnologías que consumen combustibles fósiles.

Esta realidad se debe a que el abastecimiento del consumo de electricidad se realiza principalmente mediante centrales termoeléctricas; gracias a que esta tecnología es más fácil de implementar debido a su relativa menor inversión respecto de las otras; así como al menor tiempo de instalación con el agravante adicional que dado que los sistemas eléctricos deben enfrentar una creciente demanda de energía de manera estacional, hace que las autoridades del sector opten por este tipo de tecnología, a pesar de que su costo operativo sea superior a las centrales hidroeléctricas por citar un ejemplo.

Con esta perspectiva el sector eléctrico contribuye al cambio climático de la siguiente manera:

- Como sector generador de emisiones de CO₂ producidas por la operación de las unidades que utilizan combustibles fósiles;
- Como sector receptor de los efectos del cambio climático debido a la influencia del mismo en el consumo de energía, debido principalmente a los siguientes factores: la variación de la temperatura que afecta a los usuarios, lo que hace que los mismos modifiquen sus patrones de consumo y las alteraciones del ciclo hidrológico (lluvias), el cual influye directamente en la operación y/o disponibilidad de las centrales hidroeléctricas.

En base a lo señalado, el cambio climático se constituye como una variable más a ser considerada por las diferentes instituciones que realizan la gestión técnico-económica del sector eléctrico en base al uso de nuevas tecnologías, conductas o políticas tanto gubernamentales como privadas.

En el caso de las empresas que integran el sector eléctrico, éstas deberán realizar un plan que garantice el continuo funcionamiento de los equipos y centrales de generación, tanto de tecnología que aprovechan los recursos naturales renovables y no renovables.

2. PROYECTO COCA CODO SINCLAIR EN EL CONTEXTO DEL MDL

El artículo 12 del Protocolo de Kioto establece el MDL, el cual tiene como propósito contribuir al desarrollo sostenible en el país anfitrión del proyecto

y soportar a los países desarrollados a cumplir sus compromisos de reducción de GEI, para lo cual estos últimos desembolsan un valor monetario por cada CER certificado por la Convención Marco sobre el Cambio Climático cuyas siglas en inglés son UNFCCC. La figura 1, muestra el esquema MDL entre el país desarrollado (Inversor) con el país en vías de desarrollo (Anfitrión).



Figura 1: Esquema del MDL

Dentro de este contexto y ante la oportunidad de participar y beneficiarse de las bondades del MDL, el Estado ecuatoriano ha emprendido el desarrollo de proyectos mediante el uso de energías renovables con el afán de contribuir con la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones de CO₂.

La central hidroeléctrica de pasada Coca Codo Sinclair, es un proyecto candidato de MDL, debido a las siguientes consideraciones:

- El proyecto contribuye a reducir las emisiones en aproximadamente 4 millones de toneladas CO₂ anuales del sector eléctrico, lo cual representa las emisiones equivalentes a la producción de aproximadamente diez centrales térmicas de 100 MW,
- Al ser una central hidroeléctrica de pasada, no requiere la infraestructura de un gran embalse lo que permite evitar las emisiones de metano, y;
- El proyecto contribuye con el desarrollo sostenible del país.

Para la determinación de la línea base que es parte importante del Documento de Diseño del Proyecto (PDD por sus siglas en inglés), el cual es parte de las diferentes etapas del “Ciclo MDL”, como se muestra en la tabla 1, las mismas que deben ser seguidas por los desarrolladores de los proyectos que buscan registrarse y con ello determinar la cantidad de CERs que acreditan la reducción de emisiones de CO₂ que producen el proyecto.

¹ Las siglas AIE corresponde a la Agencia internacional de la Energía.

Tabla 1: Ciclo MDL

ETAPA	FUNCIÓN	RESPONSABLE
Diseño del Proyecto	Formular el proyecto y preparar el Documento de Diseño del Proyecto.	Proponente del proyecto
Aprobación Nacional	Certificar mediante la carta de aprobación nacional que las actividades del proyecto contribuyen al desarrollo sostenible del país.	Autoridad Nacional
Validación	Comprobar la concordancia del Documento de Diseño del Proyecto con los procedimientos establecidos por el MDL	Entidad Operacional designada por la UNFCCC
Registro	Aceptación formal de un proyecto validado, como actividad de proyecto MDL	Junta Ejecutiva MDL
Monitoreo	Recolección y documentación de la información necesaria para determinar la reducción de emisiones del proyecto MDL	Proponente del proyecto
Verificación & Certificación	Revisión periódica independiente y notificación de la reducción de emisiones monitoreadas	Entidad Operacional designada por la UNFCCC
Emisión de CERS	Presentación de la reducción de emisiones certificadas, equivalentes a la reducción de emisiones verificadas	Junta Ejecutiva MDL

Al ser un proyecto en el sector eléctrico, es necesario utilizar el factor de emisión de CO₂ de la red eléctrica nacional a la cual el proyecto se conecta, para el caso del SNI debe ser calculado mediante la metodología ACM0002; con la finalidad de definir la línea base y de acuerdo con las características técnicas del proyecto hidroeléctrico, como se indica en la figura 2. En el caso particular del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair al tener represa, la metodología exige el cumplimiento a través de un requisito excluyente: el cociente entre la capacidad de la central en MW y el área del embalse en su máximo nivel; no debe ser inferior a 4W/m².

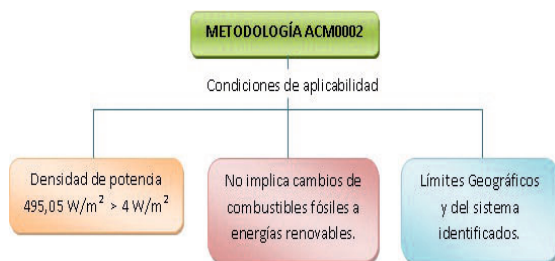


Figura 2: Condiciones del Proyecto Coca Codo Sinclair y aplicabilidad de la Metodología

La metodología ACM0002, permite determinar la reducción de emisiones de CO₂ atribuible a cada proyecto por medio de la energía eléctrica producida en MWh y el factor de emisión de CO₂ (FE) expresado en tonCO₂/ MWh, como se indica en la ecuación 1.

$$CERs = MWh_{\text{generados}} * FE \quad (1)$$

El factor de emisión de CO₂ de la ecuación 1 se refiere al determinado en la metodología como el “*margen combinado*” que constituye la ponderación² de las emisiones de CO₂ del sistema eléctrico debido a su operación denominado “*margen de operación*”³ y debido al ingreso de las últimas unidades al sistema que cumplan la condición del 20% de energía inyectada en conjunto al sistema o las cinco últimas centrales y/o unidades que incrementaron la capacidad del sistema eléctrico, el cual es conocido como “*margen de construcción*”.

En la figura 3, se presente a manera de resumen los pasos determinados por la metodología ACM0002 para el cálculo del factor de emisión de CO₂ en una red eléctrica.

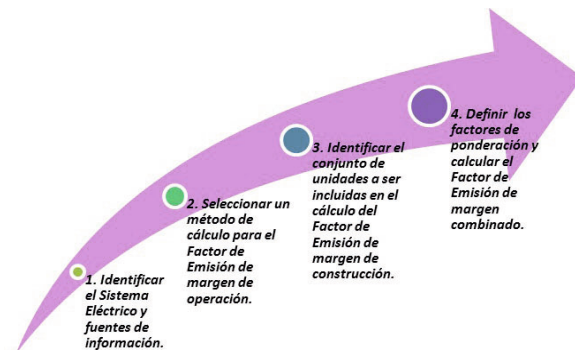


Figura 3: Pasos de la metodología ACM0002

3. ANÁLISIS DEL IMPACTO EN EL FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SNI, DEBIDO AL INGRESO DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR.

La matriz eléctrica nacional, cambiará en el año 2016, cuando ingrese al SNI el proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair (1500 MW). El esquema de operación del sistema eléctrico nacional requerirá de nuevas estrategias dada la capacidad de energía que inyectara al sistema la nueva central.

2 Los coeficientes de ponderación para el caso de proyectos hidroeléctricos, son; 75% para el margen de operación y 25% para el margen de construcción.
 3 La metodología ACM0002 considera cuatro métodos para la determinación y los requisitos de aplicación de acuerdo a las características de información disponible, en el caso del estudio se utiliza el método promedio.



Bajo esta nueva realidad operativa del SNI, a partir del año 2016 y debido principalmente al desplazamiento de la generación térmica, el factor de emisión de CO₂ del sistema eléctrico presentará una disminución; tanto en el margen de construcción como el margen operativo de la metodología ACM0002, a partir de la fecha de ingreso del proyecto cuya energía se simuló mediante la consideración del plan de expansión del sistema eléctrico a través del programa SDDP®, el mismo que permite calcular la política operativa estocástica de mínimo costo para un sistema hidrotérmico considerando:

- Representación de las características del parque generador hidrotérmico;
- Representación de las características de la red de transmisión;
- Disponibilidad de combustibles utilizados con fines de generación eléctrica, y;
- Características hidrológicas de las cuencas hidrográficas donde se hallan los proyectos del sistema eléctrico.

Bajo lo señalado, el programa permite simular escenarios; así para el caso del estudio se consideró el período 2011-2020 mediante dos escenarios:

- Escenario 1: Considera el ingreso del proyecto Coca Codo Sinclair (CCCS), y;
- Escenario 2: Sin considerar el ingreso del proyecto Coca Codo Sinclair (SCCS).

Para estos escenarios se realizó el análisis del factor de emisión de CO₂ del SNI obtenido mediante la metodología ACM0002, tanto del margen de operación, utilizando el método promedio y el margen de construcción.

a) Factor de emisión de CO₂ del SNI componente margen de operación (FE_OM)

En la figura 4, se presenta el margen de operación promedio ponderado anual para los dos escenarios en el periodo. A partir del ingreso de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, el factor de emisión presenta variaciones en la evolución del margen de operación, debido al cambio de la matriz eléctrica donde la generación hidroeléctrica representa el 96%; dada la política de expansión del parque de generación que reduce el uso de tecnología que consumen combustibles fósiles.

El margen operativo alcanza un valor de 0,628 tonCO₂/MWh con el ingreso del proyecto, mientras que si la expansión del parque generador no considera el proyecto Coca Codo Sinclair para el abastecimiento de la demanda se utilizará las centrales instaladas con tecnología de residuo de petróleo, así el margen de

operación es 0,758 tonCO₂/MWh, que representa un incremento de 20,7%. Este valor se podrá alcanzar luego de 5 años de operación del proyecto, considerado una tasa de incremento de la demanda de 5,7%.

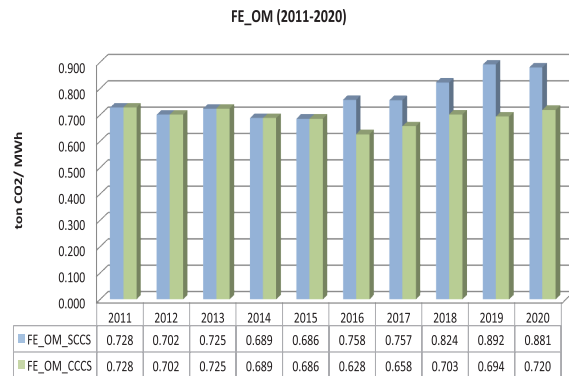


Figura 4: Margen de operación anual con y sin el proyecto Coca Codo Sinclair

Ahora en la figura 5; se presenta la evolución mensual del factor de emisión en su margen de operación para el año de ingreso del proyecto, de acuerdo al ciclo hidrológico de la cuenca Amazónica donde se encuentra el proyecto. Así en el período de abril a julio (alta hidrológica) el margen de operación del SNI presenta valores inferiores que el resto de meses del año.

Cuando la central reduce su capacidad energética, el sistema eléctrico para abastecer la demanda operan las centrales térmicas lo cual determina un margen de operación mayor, con un rango de variación 0,326 tonCO₂/MWh. Este comportamiento se presenta de manera similar en los años del período analizado.

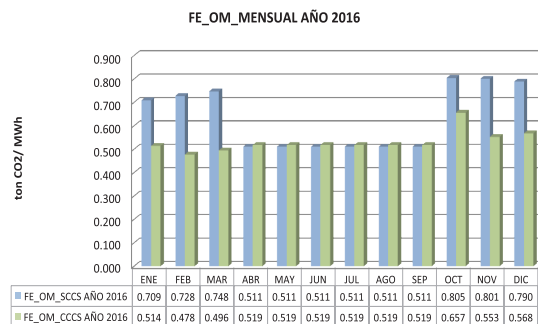


Figura 5: Margen de operación mensual con y sin el proyecto Coca Codo Sinclair

b) Factor de emisión de CO₂ del SNI componente margen de construcción (FE_BM).

La figura 6, muestra el valor promedio ponderado anual del factor de emisión de margen de construcción

para el periodo, el mismo es dependiente directamente de la capacidad energética y las emisiones; ya sea de los últimos 5 proyectos ingresados al sistema eléctrico ó del 20% de la energía de los últimos proyectos ingresados en el año precedente analizado.

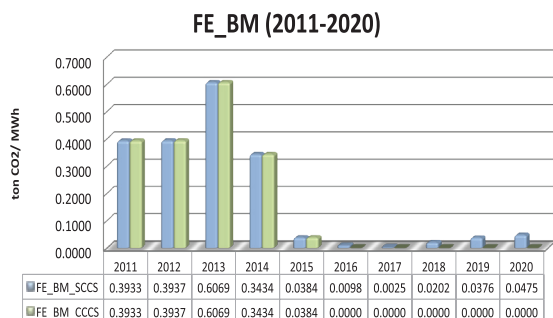


Figura 6: Margen de construcción anual con y sin el proyecto Coca Codo Sinclair.

El máximo valor del periodo de estudio de 0,6069 tonCO₂/MWh se presenta en el año 2013, situación que responde al hecho de que el 20% de la generación de las unidades más recientes ingresadas al sistema es por medio de centrales térmicas.

Sin embargo a partir del año 2016 con el ingreso de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, este proyecto cubre más del 20% de la generación situación que determina un factor de emisión de cero.

c) Factor de emisión de CO₂ del SNI componente *margen combinado* (FE_CM).

El factor de emisión combinado resulta de la multiplicación de los dos factores de emisión calculados para el margen de operación y margen de construcción y afectados por un factor de ponderación, el mismo que depende del tipo de proyecto MDL para el cual se requiere.

A continuación, se presenta para las dos formas de ponderación sugeridas por la metodología ACM0002.

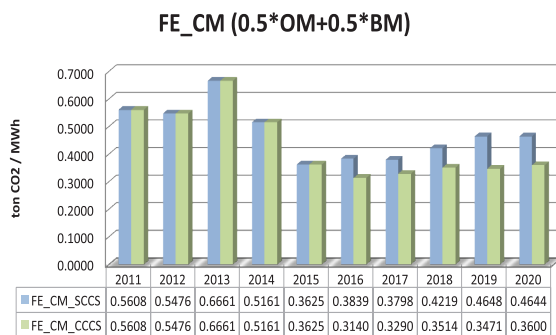


Figura 7: Margen combinado anual con y sin el proyecto Coca Codo Sinclair, ponderación 50%

La figura 7, considerando el ingreso del proyecto Coca Codo Sinclair el factor de emisión de CO₂ para el periodo de análisis, siendo el valor mínimo en el año 2016 de 0,314 tonCO₂/MWh mientras que el valor máximo se presenta en el año 2013 por 0,666 tonCO₂/MWh. Para el periodo 2011-2015 los factores de emisión de los dos escenarios son iguales, mientras que para el periodo 2016-2020 presentan una variación promedio de 24,1% entre los escenarios, más se observa similar tendencia de evolución para el factor de emisión. Adicional el factor de emisión para el periodo 2016-2020, solo presenta la componente del margen de operación, ya que el margen de construcción es cero en el escenario con el proyecto Coca Codo Sinclair.

La figura 8, indica la evolución del factor de emisión de CO₂, para el caso de proyectos MDL que utilizan recursos no convencionales.

Para este caso de ponderación de los márgenes del factor de emisión mediante la metodología ACM0002, premia el cambio de a matriz eléctrica al considerar un factor de ponderación mayor para el margen de operación.

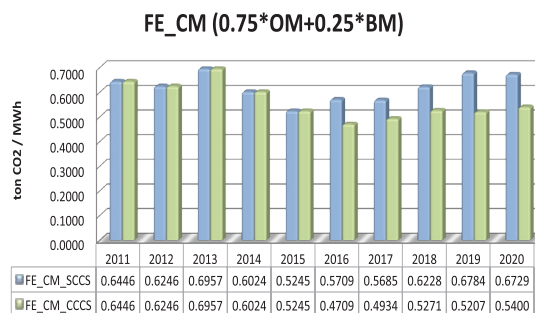


Figura 8: Margen combinado anual con y sin el proyecto Coca Codo Sinclair, relación 0,75*FE_OM +0,25*FE_BM

Bajo esta situación, el factor de emisión presenta una similar evolución que el caso anterior, pero con valores superiores al caso de ponderación del 50% para cada margen.

4. ESTIMACIÓN DE CER DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR

La tabla 2; se presenta la determinación de las toneladas de CO₂ que el proyecto Coca Codo Sinclair, permite reducir al ambiente por parte del parque generador del sistema eléctrico considerando el factor de emisión del sistema en el año 2016, si no ingresaría el proyecto, lo cual permite determinar la adicionalidad del mismo al ser considerado en el MDL.



Tabla 2: Adicionalidad del proyecto Coca Codo Sinclair

Reducción de emisiones de CO ₂	
Energía anual CCS (MWh)	8 743 000,00
FE margen de construcción (ton CO ₂ /MWh)	0,0098
FE margen de operación (ton CO ₂ /MWh)	0,7579
FE margen combinado (ton CO ₂ /MWh)	0,3839
Reducción de emisiones ton CO₂ = CER	3 356 437,70

Con esta cantidad de CER's y analizando las tendencias del mercado de carbono, a un precio promedio de US\$4, se determina los ingresos adicionales del proyecto si se certifica como proyecto MDL, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3: Estimación de los ingresos anuales por la venta de los CERs del proyecto Coca Codo Sinclair

Ingresos por CERs de Coca Codo Sinclair	
Número de CERs	3 356 437,70
Precio unitario US\$/CER	4
Ingreso total por CER US\$	13 425 750,80

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El ingreso del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair a más de cambiar la matriz eléctrica, transformándolo a una matriz amigable con el ambiente lo que hace disminuir el valor del factor de emisión del sistema eléctrico.
- Debido, al crecimiento natural de la demanda del sistema eléctrico, el factor de emisión también presenta una variación promedio anual de -0,8%, sin considerar el proyecto, y considerando el proyecto de -3,6%, en el período de análisis.
- El proyecto al representar el 46% de la demanda de energía del sistema eléctrico nacional influye directamente en su operación, lo que determina el factor de emisión del sistema.
- El margen de operación promedio ponderado del período 2011-2020, del factor de emisión, con y sin el proyecto Coca Codo Sinclair es de 0,692 tonCO₂/MWh y 0,775 tonCO₂/MWh, respectivamente, lo que demuestra que el proyecto CCS permitirá reducir el FE_{OM} en un 10,7%.
- El margen de construcción promedio ponderado del periodo 2011-2020 con y sin Coca Codo Sinclair es de 0,145 tCO₂/MWh y 0,159 tCO₂/MWh respectivamente. Y considerando el ingreso del proyecto este puede alcanzar el valor de cero.
- El proyecto Coca Codo Sinclair permitirá contribuir a alcanzar una presencia del 96% de generación hidroeléctrica. Así la matriz

energética del país será más amigable con el ambiente, esta situación permite alinearse a la metas de los objetivos 4 y 12 del PNBV diversificando la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables.

- Debido a los beneficios positivos del ingreso de proyectos de energía renovable, es necesario que sector eléctrico, cuente con una actualización anual del factor de emisión mediante esquemas de seguimiento de la operación diaria del parque generador.
- Los ingresos de la venta de CERs, constituyen un aporte adicional al proyecto que permite reconocer la política del sector eléctrico en el desarrollo de una matriz eléctrica sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oscullo José, Factor horario de Emisiones de CO₂ producido por el parque generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador: Herramienta Metodológica. Revista Energía, Ene.2011.
- [2] Vásquez Paúl, Cambio de Paradigma en el Pronóstico del Recurso Hidrológico: Influencia del Cambio Climático. Revista Energía, Ene.2011.
- [3] Haro Lenin, Determinación Mensual del Factor de Emisiones de CO₂ producido por el Parque Generador en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el periodo 2005-2009. Tesis EPN Sep.-2010.
- [4] Cárdenas Verónica, Impacto del ingreso de la central Coca Codo Sinclair en el año 2016 sobre el factor de emisión anual y mensual de CO₂ de la red eléctrica del Sistema Nacional Interconectado. Tesis EPN Oct.-2011.
- [5] Revista Energías Renovables No. 96, Ene.-2011, Madrid.
- [6] Metodología ACM0002 de la Secretaria de la UNFCCC. <http://unfccc.int/documentation/items/2643.php>.
- [7] BID, Informe sobre el Desarrollo Mundial: Desarrollo y Cambio Climático, Mayo 2010.
- [8] Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, CONELEC.

[9] Valenzuela D., et al Guía Ecuatoriana para Formulación de Proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio, Guayaquil.

[10] Neira D., Den Berg B.; El mecanismo de Desarrollo Limpio en Ecuador: Un diagnóstico rápido de los retos y oportunidades en el Mercado del Carbono, BID, Quito.



Verónica Paulina Cárdenas Ulloa.- Nació en Ambato- Ecuador, el 05 de febrero de 1986. Recibió su título de Ingeniera Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional en el 2011.

Actualmente trabaja en la Dirección de Planeamiento de la Corporación Centro Nacional de Control de Energía CENACE.



José Oscullo Lala.- Nació en Sangolquí, Ecuador en 1971. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en 1996; Máster en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Estatal de Campinas, Sao Paulo en 2002; Magister en Dirección de Empresas de la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador en 2008; Especialista en Proyectos de Desarrollo de la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador en 2011.

Actualmente se desempeña como Consultor en temas del sector eléctrico.

Se ha desempeñado como ingeniero de Planeamiento del CENACE hasta julio de 2010, Asesor de Planificación y Expansión del SNI en el MEER en el período agosto-diciembre de 2010, Asesor del Sector Eléctrico en SENPLADES en el período diciembre de 2010 – marzo 2012; además es Director y Codirector de tesis de pregrado y postgrado de algunas universidades del País. Su campo de investigación se encuentra relacionado a la aplicación de sistemas expertos y financieros en SEP, así como el análisis técnico, económico y financiero de expansión de sistemas eléctricos y proyectos de desarrollo ambiental.