

Una Aplicación Metodológica para el desarrollo eléctrico del Uruguay

La Función Eléctrica y el Análisis Multidimensional

Autores:

Ing. Omar Braga

Ing. Omar Paganini

Cr. Alejandro Perroni

Ing. Andrés Tierno

Ing. Raúl Zeballos

Resumen ejecutivo

La disponibilidad de energía eléctrica resulta un elemento básico para los procesos de desarrollo de cualquier país en el presente, y en mayor medida en el futuro. Es un elemento esencial para el bienestar humano, así como un insumo básico para la producción de bienes y servicios. El desarrollo en las sociedades contemporáneas supone un aumento del insumo energético y en especial implica el incremento de la producción y distribución de electricidad. En tal sentido, la producción de energía eléctrica constituye una cuestión de alto interés, que tiene y tendrá trascendentes consecuencias económicas, sociales y ambientales.

En Uruguay recientemente han sucedido dos hechos relevantes en materia energética. En primer término, el país tiene una política energética definida y explicitada, formulada por el Ministerio de Industria Energía y Minería y su Dirección Nacional de Energía (DNE/MIEM), lo cual significa un avance muy importante.

En segundo lugar, a instancias del gobierno electo, en febrero de 2010 funcionó una comisión interpartidaria sobre el tema energía (Comisión Interpartidaria de Energía, 2010), la cual produjo un documento de consenso que resulta destacable, pues significa una base para una política de Estado en esta materia.

Objetivo, alcance y marco conceptual

El principal objetivo de este estudio es presentar y aplicar una metodología de trabajo que facilite y fundamente la toma de decisiones sobre la prospectiva del desarrollo eléctrico del Uruguay.

Un portafolio de energía, como cualquier otro portafolio con un horizonte de largo plazo, veinte años en este caso, es una canasta plena de riesgos. Entre los principales riesgos a tener en cuenta en este caso, hemos considerado: 1) la probabilidad de aumento de los costos; 2) la posibilidad del impacto ambiental; 3) la fiabilidad de la oferta; 4) la flexibilidad de su implementación; 5) la resistencia al impacto de grandes perturbaciones o acontecimientos accidentales.

El estudio parte del análisis, realizado por una serie de especialistas sectoriales, de las fuentes de energía primaria disponibles, del estado del arte y las perspectivas de desarrollo de las tecnologías de transformación de esas energías primarias en electricidad. Complementariamente a esos análisis de fuentes y tecnologías, especialistas también han analizado la cuestión ambiental tratando los temas de

mitigación, como los mecanismos de intercambio limpio del protocolo de Kioto y las tecnologías de captura y almacenaje de CO₂.

En un mundo con demanda creciente de energía y exigencias de calidad cada día más rigurosas, es de esperar un aumento sostenido de los precios. En este supuesto también hemos recabado de expertos un análisis de la futura evolución de la intensidad energética del PIB y de la eficiencia energética esperada. Asociado con estas últimas condiciones, se harán necesarias nuevas funciones del “módem” que relaciona la oferta de energía con la demanda: las redes de transporte y distribución, que gradualmente deberán transformarse en su versión futura como redes inteligentes.

Finalmente, en un escenario con múltiples fuentes y tecnologías de transformación, surge la necesidad de administrar el mercado mayorista, y para eso hemos requerido de especialistas un análisis de las diferentes modalidades y su viabilidad de aplicación en el mercado mayorista uruguayo.

Respaldo en las informaciones y conclusiones de los informes sectoriales, el trabajo comienza con la definición conceptual de la función eléctrica. Esta se define detalladamente en sus dos aspectos de función oferta y función demanda. Se determinan concretamente los parámetros que definen las fuentes firmes y variables, las tecnologías de generación a utilizar y las características de la demanda y de los usos finales. En suma, se cuantifican los parámetros de los dos miembros de la función eléctrica, de manera tal que puede simularse con un modelo matemático, procesable en una planilla electrónica de cierta complejidad.

Con este modelo se realizan los cálculos para confeccionar distintos escenarios de oferta y demanda, escenarios que, una vez definidos y conformados, se pasan a la etapa de evaluación.

La herramienta de evaluación utilizada es el análisis multidimensional clásico (Escribano Ródenas & Fernández Barberis, 2003; DNETN/MIEM, 2007; Castillo y otros, 2010), pero basado, en principio, en cinco dimensiones *duras*: los costos, la fiabilidad, la flexibilidad, la sostenibilidad ambiental y la resistencia al estrés.

Esta evaluación conduce a la obtención del *diagrama de la robustez*¹ (DNETN/MIEM, 2007; Castillo y otros, 2010) de las posibles soluciones de oferta de generación, referido a las cinco dimensiones antes mencionadas.

¹ En el trabajo *Robustez del sistema eléctrico nacional: aporte metodológico y ejercicio de aplicación* (DNETN/MIEM, 2007) se aplica el concepto de *rosa de la robustez* con un significado equivalente a nuestro *diagrama de robustez*. En el trabajo *Escenarios energéticos Chile 2030* (Castillo y otros, 2010) también se aplica este tipo de diagramas para evaluar un escenario multidimensional. En ambos casos las dimensiones son diferentes a las propuestas en este trabajo.

Cabe destacar aquí que el alcance de este trabajo finaliza en la oferta energética en los bornes del generador, sin desarrollar la problemática subsiguiente de emplazamientos, propiedad, sistema regulatorio y estructura tarifaria. Cada uno de estos temas requiere un estudio en sí mismo; sin embargo, se considera que la disponibilidad futura de la energía eléctrica estará condicionada en cantidad, seguridad, impacto ambiental y costos, fundamentalmente por la capacidad de generación con la que el país cuente —el lado de la oferta—, y dentro de esta la adecuada selección de fuentes primarias a disponer y sus correspondientes tecnologías de transformación. Por esta razón, implícitamente, el presente estudio aborda *la oferta*, que considera el aspecto neurálgico para la disponibilidad futura de esta fundamental forma de presentación de la energía.

Enfoque metodológico

La propuesta central que hacemos es metodológica, por lo que algunas de las principales conclusiones del trabajo son de este tipo:

- Un enfoque adecuado para el Uruguay, en relación con la planificación de la producción de energía eléctrica, debe comenzar con una estimación de la demanda futura, que será un resultado de la evolución del producto interno bruto y de la intensidad energética de nuestra economía. Ambas magnitudes se pueden estimar de acuerdo a las tendencias regionales de mediano plazo que están disponibles y del aporte de especialistas que incluimos.
- A partir de la demanda a atender, se puede hacer una proyección de los requerimientos de potencia instalada, con criterio conservador, tomando como base un año de baja hidraulicidad y sin contar con aportes de la importación de energía, para lograr estar cubiertos en el *peor caso* de la demanda. El resultado de esta proyección es en sí mismo interesante, pues indica que el requerimiento de potencia instalada crecerá sistemáticamente y el país será deficitario a partir de plazos tan cercanos como el 2014.
- Evidentemente, será necesario definir con qué fuentes primarias y tecnologías se puede cubrir este déficit. Las opciones, una vez aplicados los criterios definidos en el trabajo, son en realidad pocas: como fuentes firmes se pueden plantear el gas natural, el carbón y la generación nucleoelectrica, con algún aporte de la biomasa, y como fuentes variables la principal alternativa es la eólica, pues los aportes adicionales de la hidráulica serán necesariamente marginales.

- Los combustibles líquidos destilados (gasoil, por ejemplo) deben descartarse como alternativa, pues, al contar como mercado global cautivo con el transporte, su precio no estará acotado en los próximos años; en consecuencia, una opción en este sentido será francamente inconveniente en términos económicos, más allá de otras consideraciones de tipo ambiental o estratégico.
- Los combustibles líquidos pesados, por su parte, en la realidad actual, podrán tener aplicaciones marginales, por la baja eficiencia relativa de las tecnologías existentes para ello.
- Por otra parte, cada tecnología tiene requerimientos propios de habilitación, infraestructura y obras que suponen restricciones temporales, de manera que no será posible instalar cualquiera de ellas en cualquier lapso. De esta manera, queda establecido un marco estratégico en el que las variaciones básicas están acotadas:
 - Los primeros años serán de la energía eólica, que es la única que puede ser implantada en ese lapso. El país tiene potencial suficiente, es una energía limpia y sus costos se vienen adecuando. No obstante, existe aún poca experiencia en el impacto de esta tecnología, variable en lapsos cortos (diezminutales y horarios), en la red eléctrica, su regulación y estabilidad. Por esas razones, existen incertidumbres acerca del *techo* de energía eólica a instalar, que seguramente estará por encima de los 500 MW nominales (sin embargo, no debe olvidarse que 500 MW solamente producirían valores de *potencia firme de base anual* de unos 170 MW, por la naturaleza variable de esta fuente).
 - Entre 2015 y 2022/25, el país necesitará mejorar su base de potencia firme y las opciones serán inevitablemente dos: o el **gas** o el **carbón**. La energía nuclear, más allá de otros cuestionamientos, no llegaría en ese lapso. La decisión del gobierno uruguayo ha sido el gas natural, suministrado a partir de una planta regasificadora flotante a construir, en conjunto con Argentina, en aguas uruguayas.
 - Más allá de esto, ambas opciones —carbón o gas— requieren infraestructuras complementarias a realizarse cuanto antes (planta de regasificación, puerto de aguas profundas para recepción de carbón). El tema de estas infraestructuras es un elemento clave, que requiere un tratamiento urgente.
 - En este período (2015-2022/25) se puede continuar ampliando la potencia eólica, si se aclaran las incertidumbres relacionadas con la regulación, la estabilidad y el respaldo.

–Más allá de 2022/25, los requerimientos de potencia firme se espera que continúen aumentando, y se pueden considerar las alternativas anteriores y la nucleoelectrica. Los plazos de la nucleoelectrica son tales que, si se quiere tener operativa para el 2025, los estudios preliminares deben lanzarse ahora, luego de acordarse su pertinencia, o definitivamente descartarse o posponerse.

Comentarios y conclusiones generales

Dentro de este marco, que de alguna manera restringe lo que se puede hacer, es posible formular opciones, que deberían ser evaluadas y comparadas para que los tomadores de decisión finalmente implementen una estrategia determinada. Este trabajo ofrece una forma de realizar estas comparaciones que es multidimensional y permite, dada una determinada estrategia de obras, evaluar sus características, ponderar sus dimensiones *duras* y de esa manera decidir cuál es más conveniente.

Habiendo evaluado cinco escenarios diferentes como aplicación de la metodología propuesta, los cuales se detallan en este trabajo,² surgen algunas conclusiones que es interesante formular:

- La **demanda eléctrica será creciente** en el período. Existe incertidumbre acerca de su tasa de crecimiento, como existe también acerca de cualquier variable de base económica, pero todas las proyecciones dan una clara y marcada tendencia creciente, lo cual por otra parte es consistente con la historia nacional en este sentido. Es necesario entonces, ante una oferta actual con restricciones importantes, encarar cuanto antes las decisiones para atender los requerimientos de potencia instalada correspondientes, ya que el peor escenario es el de que se verifiquen faltantes de energía o que esta se transforme en un cuello de botella para el desarrollo.
- El **costo de generación de la energía eléctrica para el Uruguay será necesariamente creciente** en los próximos veinte años, medido en dólares constantes por MWh. Esto se debe a que la participación de la fuente hidráulica será decreciente al aumentar la demanda energética, y entonces irá perdiendo peso una fuente que tiene hoy un costo muy bajo por contar con costos variables muy escasos e instalaciones amortizadas.

² Los escenarios evaluados son solamente algunas de las alternativas posibles. La metodología admite la formulación y evaluación de otros escenarios alternativos. En ese punto reside su fortaleza, puesto que ofrece un mecanismo *duro* para la comparación de un programa con otro.

- El **déficit mayor del país es de potencia firme**, puesto que tiene una composición elevada de fuentes variables en la oferta eléctrica y, por lo tanto, opciones como la eólica, que es interesante dadas las características del país, tienen sus limitaciones.
- Las energías alternativas irán de a poco aumentando su participación entre las fuentes primarias a escala global, pero **los combustibles fósiles estarán presentes en la oferta energética global por muchos años**, y en un lugar de mucha relevancia. En el caso concreto de las fuentes firmes, su posición será muy importante a lo largo de los próximos veinte años. En particular, entre estas fuentes, el gas natural está llamado a jugar un papel preponderante. El desarrollo de un mercado global de gas natural licuado es un hecho indiscutible, y en tal sentido el proyecto de planta regasificadora adquiere un lugar relevante en el conjunto de las estrategias de desarrollo energético del país.
- El **monto de inversiones que el país debe destinar al sector de generación eléctrica en los años que vienen es muy significativo**. Esto quiere decir que muy probablemente esté descartando hacerlo solo con fondos estatales y, por consiguiente, **el capital privado está llamado a ocupar un espacio importante** en la generación eléctrica. En consecuencia, este espacio debe ser formal y sistémicamente promovido. Mecanismos que se están impulsando para promover la participación público-privada pueden resultar muy convenientes si se implementan adecuadamente.
- **Las interconexiones son un elemento clave para el desarrollo eléctrico del país**. Si bien no resultan relevantes para determinar las necesidades de potencia firme, partiendo de la hipótesis de que Uruguay debe continuar y profundizar la estrategia de ser un país cada vez más abierto e integrado al mundo, resulta necesario incentivar la política de interconexión física y de mejora de las reglas para propiciar un mayor intercambio entre los países. Adicionalmente, el acceso a energía ocasional de bajo costo que pueda obtenerse en la región permitiría mitigar al menos parcialmente los costos crecientes de la energía en el horizonte analizado (otra de las conclusiones del trabajo). Un punto complementario con la interconexión regional es la necesidad de contar con una red de transmisión de alta tensión adecuada dentro del país.

El examen posterior y definitivo de las soluciones sugeridas deberá ser realizado por los tomadores de decisión, teniendo en cuenta inevitablemente un análisis multidimensional como el que se presenta, pero con su propia ponderación de las diferentes dimensiones para arribar a una decisión final. Esto es inevitable, puesto que

la ponderación entre las dimensiones implica inevitablemente aspectos valorativos, de responsabilidad política.

Consideramos que varias de las soluciones presentadas —que técnicamente no son las únicas posibles, pero representan en forma bastante ajustada las alternativas que existen— tienen una robustez adecuada para enfrentar con éxito las incertidumbres de un horizonte temporal de veinte años o más. Sin embargo, necesariamente son los tomadores de decisión quienes deben realizar su propio análisis y de esa manera orientar la decisión final en un sentido u otro.

Hacemos esta recomendación convencidos de no estar en la categoría de *bárbaros tecnócratas* o *bárbaros modernos*, como definió a los ingenieros, economistas, etc., el filósofo español Ortega y Gasset en su célebre ensayo *La rebelión de las masas*.

Interrogantes abiertas

Finalmente, los autores queremos dejar temas abiertos a la reflexión y el debate, para lograr la construcción colectiva de la estrategia energética del país, única forma de llevar a buen puerto un asunto que es de larga duración y requiere definiciones firmes y sostenidas. Nos gustaría entonces enumerar algunos temas que deben ser objeto de reflexión y definición:

- **¿Existen límites técnicos para la generación eólica en el Uruguay?** Nos referimos a limitaciones que surjan por el efecto de introducir en gran escala una fuente con variabilidad de corto plazo, lo que requiere de respaldo rotante o caliente en un volumen a determinar. Por otra parte, ¿existen tecnologías adecuadas para mitigar este problema? ¿Las centrales de bombeo deberían ser consideradas un componente importante?
- Si el capital privado tuviera un lugar destacado en el desarrollo eléctrico del Uruguay, **¿cuál sería el marco regulatorio apropiado?** Esto evidentemente tiene implicaciones de tipo institucional, puesto que se puede recurrir a un esquema de obra pública financiada por privados, o a estructurar un mercado de generación, con un esquema de *comprador único* con competencia institucionalizada en la generación, u otras alternativas. Cualesquiera sean la solución institucional y el esquema de regulación del sector que se elijan, esto debería hacerse cuanto antes.
- **¿Cómo gestionar la demanda puntual que puede introducir la instalación en el país de un nuevo proyecto productivo de alcance global?** Hasta ahora los emprendimientos de gran porte que se han instalado han sido excedentarios en energía y por lo tanto no han distorsionado la planificación eléctrica nacional; antes bien, han ayudado a atender situaciones comprometidas.

Sin embargo, los grandes proyectos mineros u otros que pudieran instalarse significarían sin duda demandas importantes, concentradas en el tiempo y de difícil previsión en estos veinte años. Posiblemente la explicitación de una política en la cual se determine que los proyectos de porte deben incluir su propia generación sea de recibo, dado el tamaño del país y el impacto que una demanda puntual de algunas centenas de MW puede producir.

- La producción de electricidad a partir de biomasa, cuando se trata de emprendimientos de cogeneración de porte relativamente grande, como las pasteras de celulosa, es una propuesta sólida. Sin embargo, los emprendimientos de quema de biomasa forestal están enfrentando problemas. Asimismo, aquellos que pretenden comprar materia forestal, aunque sea residuos, enfrentan problemas de viabilidad económica por la escasez de materia prima, el costo del flete y el costo del chip que deben mezclar con los residuos. **¿Es viable la quema autónoma de biomasa? ¿Solamente serán viables los emprendimientos de cogeneración? ¿Cuál es el *techo* para la generación con biomasa? ¿Existen problemas técnicos a atender para la quema en gran escala de desechos de eucaliptos o pinos con eficiencia adecuada?**
- Asimismo, el Estado ha planteado que las ofertas de generadores privados deben contener cierto porcentaje de integración nacional (DNE/MIEM, 2010). Partiendo de que la necesidad prioritaria, y sobre todo aquella que influye más directamente en la generación de empleo en el país, es contar con electricidad abundante y de costos razonables, **¿es aconsejable insistir en este tipo de restricciones para los proyectos de generación eléctrica?** Al tratar de generar puestos de trabajo nacionales directos —que necesariamente serán escasos—, ¿no se están introduciendo riesgos y restricciones inadecuados en los proyectos y comprometiendo sus impactos más importantes? ¿Se han evaluado los efectos indeseados que tales decisiones introducen más allá de su manifiesta buena intención?
- La generación nucleoelectrica sin duda ha sido puesta severamente en cuestión por los actuales accidentes en Japón. Es cierto que aún no han terminado sus consecuencias, por lo que es temprano para sacar conclusiones terminantes (Suárez-Ántola, 2011). Asimismo, es claro que la causa concreta que ha disparado estos episodios han sido los incidentes sísmicos de los cuales el Uruguay está a salvo, y también que las centrales afectadas son de diseño antiguo. No obstante, ha quedado claro que la tecnología nuclear tiene por lo menos características cualitativamente diferentes a las del resto de las tecnologías de generación. Una de ellas es que en rigor, luego del apagado de un reactor, su núcleo sigue emitiendo calor por tiempo muy prolongado. Otra es que el combustible nuclear usado presenta desafíos de

seguridad importantes por muchos años luego de su retiro del núcleo de la central y por siglos luego de su disposición final. Finalmente, resulta muy evidente que el impacto de un incidente serio en plantas de estas características trasciende en órdenes de magnitud los de las centrales de otros tipos.

- Estos acontecimientos sin duda dispararán una ronda de ajustes en la normativa internacional, acortarán los tiempos de vida útil de las centrales, enlentecerán los nuevos proyectos, demorarán su aprobación y, en consecuencia, elevarán sus costos. En conclusión, **¿está vigente la energía nuclear como una opción para el país en el período analizado?** Por otra parte, aunque se postergue, ¿eso invalida la necesidad de realizar estudios a fondo en el país, así como preparar recursos humanos para el manejo de esta tecnología? Se trata de cuestiones abiertas que deben ser debatidas.
- La **eficiencia energética es una temática importante**, por cuanto un recurso escaso y con externalidades muy diversas no debería ser despilfarrado. Sin embargo, los fundamentos dicen que el precio y la tarifa son las mejores palancas de la eficiencia en la economía en general. En efecto, los países donde el despilfarro energético es mayor son los que más pueden ganar con la eficiencia, pero son también aquellos donde las tarifas de la energía han estado especialmente bajas durante mucho tiempo (Estados Unidos y Argentina, por citar dos ejemplos). No parece el caso del Uruguay, aunque el aumento previsto del costo de la energía, que vemos como una tendencia inevitable, sin duda será un impulsor de su uso eficiente en el futuro. Por otra parte, la eficiencia deriva fuertemente de conductas sociales, por lo cual la dimensión cultural es importante. El país no tiene, en este como en otros aspectos, pautas culturales que impulsen la productividad y la eficiencia, o el uso responsable de los recursos en general. Impulsar esto es loable, pero se trata de un cambio de largo plazo. La tecnología eficiente muchas veces implica costos *de inversión* mayores y luego costos *de operación* menores para el usuario, y el mero precio de los componentes puede enmascarar esto. Incentivar entonces el uso de componentes eficientes parece adecuado, sin por ello distorsionar excesivamente el mercado, puesto que las externalidades negativas siempre aparecen.
- Finalmente, queremos dejar planteado un interrogante para el futuro, y es si el Uruguay no debería proponerse ser **un país excedentario en energía eléctrica**. En países con disponibilidad de fuentes primarias firmes resultaría claro; sin embargo, no es nuestro caso. Con todo, pueden existir razones tecnológicas y de escala que generen los nichos de oportunidad para una iniciativa así, que además permitiría alejar las crisis de oferta en forma definitiva.

En suma, el país tiene que tomar decisiones acerca de su futuro energético, en particular en lo que a generación eléctrica se refiere, y tiene que tomarlas, estimamos, cuanto antes, en un marco consistente, fundamentado, sistemático. Este trabajo pretende aportar herramientas metodológicas para hacerlo, y presenta algunos ejemplos de cómo estas herramientas operan en el caso concreto del tipo de decisiones que tenemos por delante en el caso de la energía eléctrica.