

Análisis multicriterio del desempeño en el aprovechamiento de la energía eléctrica de las unidades académicas de la UNA: un enfoque basado en AHP

Fabio Aquino, Félix Fernández, Eduardo Ortigoza

Facultad Politécnica-UNA

Paraguay

RESUMEN

Actualmente, la eficiencia energética, las fuentes alternativas, y el uso racional de la energía son conceptos muy utilizados para lograr la economicidad de los procesos, reducción de la factura eléctrica, seguridad de suministro y la mitigación del impacto ambiental, siendo útiles para todos los sectores de consumo final de un país. El presente trabajo tiene por objetivo principal realizar un análisis del manejo de la energía eléctrica en las unidades académicas de la Universidad Nacional de Asunción, ubicadas en el campus universitario de San Lorenzo. Se propone utilizar el método Proceso Analítico Jerárquico (AHP), para realizar el análisis e identificación de aquellas facultades que tienen un mejor desempeño en el manejo de los recursos energéticos. El AHP es una técnica utilizada para la toma de decisiones y se basa en realizar la distribución de las decisiones a tomar en función de una jerarquía que ayuda a visualizar cuál o cuáles son las decisiones que podrían generar un mayor impacto en el objetivo buscado. Para los indicadores que darán peso a los criterios, el trabajo se ha inspirado, en parte, en estándares internacionales como la familia ISO 50001, y para elaborarlos se procedió a recolectar datos de consumo de electricidad de la ANDE, de allí se obtuvieron registros de consumos mensuales correspondientes a varios años por institución. También se recopilaban otros datos relevantes por Facultad, que fueron utilizados en el método, como la población, cantidad de carreras ofertadas, equipos de uso relevante de energía (USE). Los criterios elegidos para la evaluación AHP han sido el de características del consumo, nivel de pérdidas, eficiencia de los Usos Significativos de Energía (USE), económico, calidad de la gestión y ambiental. Para el análisis se consideraron 8 alternativas y ellas son la Facultad Politécnica (FPUNA), Facultad de Arquitectura Diseño y Arte (FADA), Facultad de Ingeniería (FIUNA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN), Facultad de Ciencias Veterinarias (FCV), Facultad de Ciencias Químicas (FCQ), Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) y Facultad de Ciencias Económicas (FCE). Los resultados muestran que la mejor alternativa bajo los criterios analizados representa a la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ). Finalmente, con los resultados obtenidos se ha realizado un Benchmarking Energético, a fin de conocer los niveles de esfuerzos que necesitan realizar cada unidad académica para avanzar hacia un estándar de desempeño en el manejo de la energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE

1. Consumo de energía 2. Eficiencia energética 3. Proceso Analítico Jerárquico (AHP) 4. Desempeño 5. Benchmarking Energético.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Asunción (UNA) por su visión de entidad comprometida con la sociedad, la eficiencia y el desarrollo sostenible se ve obligada a ser una organización pionera en acciones de mejora del aprovechamiento de los recursos energéticos y el cuidado del medio ambiente. El presente estudio se fundamenta en la necesidad de evaluar las diferentes Facultades de la UNA desde un punto de vista económico-energético y apunta a marcar una referencia para poder fijar objetivos y trazar planes de mejora y/o mantenimiento de la eficiencia. La evidencia sugiere que mediante sistemas de gestión de la energía se pueden obtener ahorros de energía a mediano plazo de entre 15 y 40% en experiencias de países desarrollados como España [1], y potenciales de ahorro de cerca de 10% anual en Sudamérica [2]. Se plantea el uso del método Proceso Analítico Jerárquico (AHP), para evaluar las Facultades de la UNA, Campus Universitario de San Lorenzo, con un benchmarking energético de carácter exploratorio y a nivel agregado. Las facultades incluidas en el análisis servirán de alternativas para el método AHP. Por otro lado, los criterios de evaluación seleccionados son de carácter económico, técnico y ambiental, siendo el objetivo general el de determinar la facultad que realiza un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica.

Primeramente, se seleccionan las facultades que serán incluidas como alternativas en modelo de decisión, para luego elaborar indicadores para los criterios de desempeño, que se tendrán en cuenta para evaluar las alternativas seleccionadas. Para ello, se recolectaron datos del consumo energético y otros parámetros relacionados a las actividades de cada una de las facultades, de tal manera a caracterizarlas. Una vez obtenidos los resultados del método AHP, se espera brindar una herramienta útil de gestión energética para etapas de planificación y evaluación de resultados.

2. METODOLOGÍA

2.1. Análisis de consumos

Primeramente, se solicitaron datos de facturación eléctrica a la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), de 8 Facultades situadas en el Campus de la UNA, en la Tabla I se observan los consumos acumulados junto a su participación relativa en el consumo total:

Tabla I. Consumo acumulado de las Facultades para el periodo 2016-2020

Institución	KWh acumulado	Consumo relativo
Ciencias Agrarias	4.445.336	9,38%
Ciencias Económicas	6.571.469	13,87%
Ciencias Exactas	3.868.056	8,16%
Arquitectura	4.363.417	9,21%
Ingeniería	7.653.462	16,16%
Politécnica	9.479.112	20,01%
Ciencias Químicas	5.631.971	11,89%
Ciencias Veterinarias	5.360.984	11,3%
TOTAL	47.373.807	100,00%

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

Considerando como criterio al consumo acumulado, se ha realizado la selección de las Facultades que serán las alternativas para el AHP. Se han descartado las Facultades con baja participación, es decir, las que están por debajo del 10%, de manera a acotar el estudio a las Facultades que presentan mayores niveles de consumo, de manera a facilitar el relevamiento y la obtención de datos de cada Facultad. Como la participación de la Facultad que presenta el mayor consumo es del 20%, se excluyen a las que son dobladas por ésta en cuanto a consumo. Por lo tanto, se han tomado 5 instituciones consumidoras de energía eléctrica que representan el 73,25% del consumo total. Las alternativas quedaron definidas en el siguiente orden según su peso en el consumo: Politécnica (20,01%), Ingeniería (16,16%), Ciencias Económicas (13,87%), Ciencias Químicas (11,89%) y Ciencias Veterinarias (11,30%).

2.2. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El AHP es una herramienta sistemática para la evaluación y selección de alternativas que tengan un marco bien fundamentado en lo matemático y simple en su aplicación [3]. El AHP permite derivar escalas relativas utilizando el juicio o datos estándar, realizando operaciones matemáticas posteriores en tales escalas [3].

En general, el AHP sigue 4 pasos básicos: modelado, valoración, priorización y síntesis. Como se puede ver en la Figura 1, el objetivo del problema de decisión se encuentra en el nivel superior de la jerarquía, los niveles subsiguientes contienen los criterios, mientras que las alternativas se encuentran en el nivel inferior. Las relaciones de preferencia de los criterios y alternativas se determinan por la comparación por pares de los elementos con respecto a los elementos del nivel superior [4]. La configuración del árbol de jerarquías para el caso de estudio se puede ver a continuación:

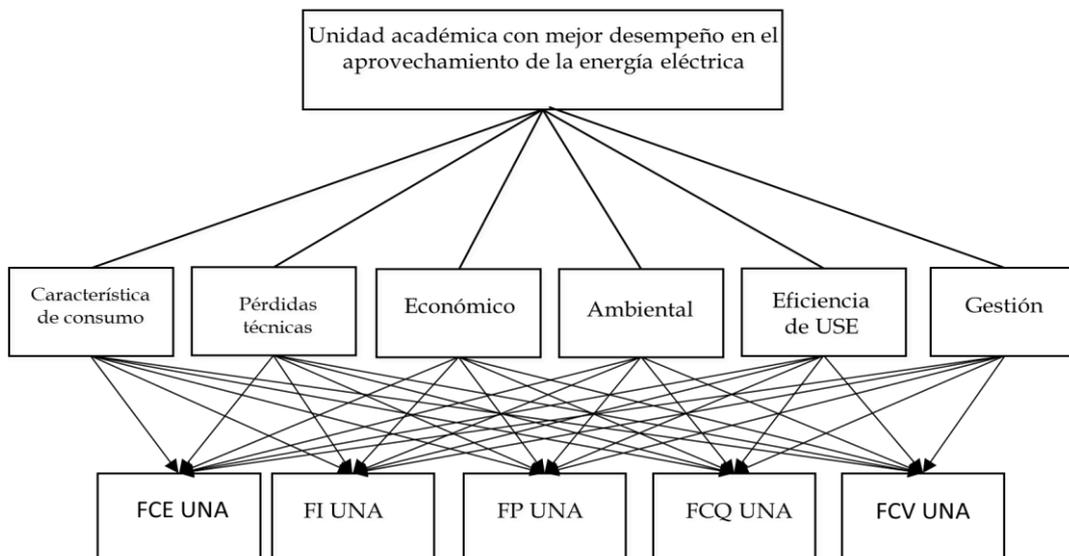


Figura 1. Árbol de jerarquías.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

2.3. Criterios

Para la obtención de ahorros energéticos se recomienda adoptar medidas que representen el menor costo posible de recursos humanos y económicos, también que sean fáciles de implementar, a razón de ello, los criterios seleccionados para la evaluación de las alternativas son los siguientes:

Criterio de Característica de Consumo (C1): este criterio representa el perfil de consumo de la institución. Su indicador es el Factor de Carga mensual (FC_M).

Criterio de Pérdidas Técnicas (C2): las pérdidas técnicas ocurren debido a las características propias de los equipos instalados. Se ha considerado el Factor de Potencia promedio mensual (FP_M) como indicador.

Criterio Económico (C3): el indicador de este criterio es el Costo de la Energía (CE), consistente en el precio promedio que paga la institución en unidades monetarias (guaraníes), por cada KWh de energía consumida.

Criterio Ambiental (C4): el indicador de este criterio es la emisión de CO_2 equivalente (CO_{2EQ}) por alumno, al año que sale de la división entre el consumo promedio anual de energía de la institución y el promedio de matriculados por año de la misma, multiplicada por el factor de emisión del mix eléctrico nacional.

Criterio Eficiencia de USE (C5): Se escogió la demanda de climatización como representativo de Uso Significativo de Energía (USE), por ser uno de los procesos consumidores principales y presentar una menor complejidad de relevamiento frente al proceso de iluminación viendo la cantidad de instituciones evaluadas. El indicador surge de una valoración subjetiva del índice de Eficiencia Energética de Refrigeración (EER), la renovación tecnológica y la calidad de la instalación relevadas mediante un trabajo de campo realizado para la presente investigación.

Criterio de Gestión (C6): este es un criterio cualitativo, cuyo indicador está en función a las valoraciones subjetivas de los departamentos de mantenimiento de cada facultad, recolectadas mediante encuestas e integradas a los juicios de los autores, según las experiencias obtenidas durante la inspección realizada en el trabajo de campo, para cada institución.

3. RESULTADOS

3.1. Prioridad Objetivo vs Criterios

Para una primera aproximación se consideran a todos los criterios como igualmente influyentes o importantes con relación al objetivo general, como se puede apreciar en la Tabla II:

Tabla II. Prioridad de objetivos respecto a los criterios

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1	1	1	1	1
C2	1	1	1	1	1	1
C3	1	1	1	1	1	1
C4	1	1	1	1	1	1
C5	1	1	1	1	1	1
C6	1	1	1	1	1	1
Vector propio	0,1666	0,1666	0,1666	0,1666	0,1666	0,1666

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

3.2. Prioridad de alternativas por cada criterio

3.2.1. Criterio de Característica de Consumo (C1)

El Factor de Carga es un indicador de eficiencia en el uso de la instalación, los datos presentados en la Tabla III fueron calculados a partir de los registros de facturación de un periodo de dos años, entre 2020 y 2021:

Tabla III. Priorización del C1

Característica de Consumo	Factor de Carga	Peso relativo
Ciencias Económicas	0,3029	0,2246
Ingeniería	0,2224	0,1649
Politécnica	0,2801	0,2077
Ciencias Químicas	0,2634	0,1953
Ciencias Veterinarias	0,2798	0,2075
Total	1,3486	1,0000

3.2.2. Criterio de Pérdidas Técnicas (C2)

Las pérdidas por corrientes reactivas son sólo una parte de las pérdidas técnicas que se pueden generar en una instalación eléctrica. En este caso el Factor de Potencia es utilizado por su impacto y su facilidad de detección. A continuación, se listan en la Tabla IV los valores calculados a partir de los datos extraídos de registros de la ANDE:

Tabla IV. Priorización del C2

Pérdidas	Factor de Potencia	Peso relativo
Ciencias Económicas	0,8646	0,1903
Ingeniería	0,9274	0,2041
Politécnica	0,9265	0,2039
Ciencias Químicas	0,9791	0,2155
Ciencias Veterinarias	0,8466	0,1863
Total	4,5442	1,0000

3.2.3. Criterio Económico (C3)

El valor utilizado en la siguiente Tabla V, surge de dividir por cada mes los guaraníes calculados de la factura según el método contemplado en el pliego de tarifas de ANDE vigente [5], entre la energía consumida en el mismo periodo en KWh. Para obtener el peso relativo de cada uno, primero se calculó el inverso del indicador, ya que se ha considerado de mejor rendimiento al que presente un valor menor del indicador.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

Tabla V. Priorización del C3

Costo de Energía	Gs/KWh medio	Peso relativo
Ciencias Económicas	1004	0,1586
Ingeniería	928	0,1715
Politécnica	580	0,2745
Ciencias Químicas	645	0,2468
Ciencias Veterinarias	1071	0,1486
Total	4228	1,0000

3.2.4. Criterio Ambiental (C4)

Para la energía proveída por la Central Hidroeléctrica de Itaipú tenemos emisiones estimadas de 195,34 GgCO₂eq/año [6], con un promedio de energía producida anual de 90379 GWh según datos de la binacional en el periodo 2016-2020, obtenemos entonces un factor de emisión de 0,00216 kgCO₂eq/KWh. Para establecer los valores de emisión de CO₂ relacionados con el consumo de energía eléctrica, presentados en la Tabla VI, multiplicamos el factor de emisión calculado por el cociente entre consumo de energía activa anual de cada institución y la cantidad de matriculados por año de las mismas [7] también para el periodo 2010-2020. En la última columna se muestran los pesos relativos en base al criterio.

Tabla VI. Priorización del C4

Emisiones de CO ₂	KWh/Mat*año	Kg CO ₂ eq/Mat*año	Peso relativo
Ciencias Económicas	305,44	0,66	0,3184
Ingeniería	481,70	1,04	0,2019
Politécnica	471,09	1,02	0,2065
Ciencias Químicas	646,15	1,40	0,1505
Ciencias Veterinarias	793,23	1,71	0,1226
Total	2697,61	5,83	1,0000

3.2.5. Criterio Eficiencia de USE (C5)

Para este criterio, en la siguiente Tabla VII se presentan los resultados del relevamiento efectuado de los equipos de aire acondicionado de cada institución. Para la evaluación se tuvieron en cuenta el índice de Eficiencia Energética en Refrigeración (EER) de los equipos, así como la proporción de los equipos de ventana vs tecnologías del tipo split.

Tabla VII. Priorización del C5

Alternativas	C. Económicas	Ingeniería	Politécnica	C. Químicas	C. Veterinarias
Ponderación	0,198	0,221	0,153	0,236	0,192

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

3.2.6. Criterio de Gestión (C6)

Para los pesos de este criterio se tuvieron en cuenta juicios de expertos y del personal de cada institución encargados del mantenimiento de las instalaciones, así como la experiencia durante el trabajo de campo por parte de los autores. Esto está representado en la Tabla VIII junto a su correspondiente distribución de prioridades expresada en la Tabla IX.

Tabla VIII. Matriz de comparaciones del C5

Gestión	C. Económicas	Ingeniería	Politécnica	C. Químicas	C. Veterinarias
Ciencias Económicas	1	0,2	0,3333	0,2	0,3333
Ingeniería	5	1	3	1	3
Politécnica	3	0,3333	1	0,3333	1
Ciencias Químicas	5	1	3	1	3
Ciencias Veterinarias	3	0,333	1	0,3333	1
Total	17	2,8663	8,3333	2,8666	8,3333

Tabla IX. Priorización del C5

Alternativas	C. Económicas	Ingeniería	Politécnica	C. Químicas	C. Veterinarias
Ponderación	0,0557	0,3424	0,1298	0,3424	0,1298

3.3. Priorización global

Finalmente, el AHP consiste en la síntesis de las prioridades en un vector global que represente la prioridad de cada alternativa con relación al objetivo general. Se puede ver en la Tabla X, que la Facultad de Ciencias Químicas es la que presenta la mejor situación respecto al aprovechamiento de recursos, mientras que la Facultad de Ciencias Veterinarias es la que deberá realizar mayores esfuerzos en busca de la mejora de los indicadores analizados en este trabajo de investigación.

Tabla X. Priorización global de las alternativas

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Priorización
Economía	0,2246	0,1903	0,1586	0,3184	0,1982	0,0557	19,10%
Ingeniería	0,1649	0,2041	0,1715	0,2019	0,2205	0,3424	21,76%
Politécnica	0,2077	0,2039	0,2745	0,2065	0,1531	0,1298	19,59%
Química	0,1953	0,2155	0,2468	0,1505	0,2359	0,3424	23,11%
Veterinaria	0,2075	0,1863	0,1486	0,1226	0,1921	0,1298	16,45%
Peso criterio	0,1666666	0,1666666	0,1666666	0,1666666	0,1666666	0,1666666	Σ 100,00%

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

4. CONCLUSIONES

Con el análisis realizado se ha podido observar la situación actual de las unidades académicas de la UNA, en las cuales, si bien existen esfuerzos para realizar adecuaciones y mantenimientos de sus instalaciones eléctricas, no se avizoran proyectos o documentos de planificación que integren varios aspectos que son necesarios e importantes para avanzar hacia los sistemas de gestión de energía. El aporte del estudio se enmarca principalmente en brindar una herramienta para realizar un análisis comparativo (benchmarking) del desempeño de organizaciones en la búsqueda de mejorar el aprovechamiento de sus recursos energéticos. Se han utilizados criterios e indicadores seleccionados de acuerdo a su viabilidad, practicidad, significancia y facilidad de obtención de los datos. Las limitantes del estudio fueron la falta de fuentes de información segura, como inventarios, detalles de carga, planos eléctricos, etc. Esto ha dificultado la obtención de datos para un mayor número de alternativas posibles a ser analizadas, lo que ha obligado a acotar el alcance del estudio. Aún con las restricciones mencionadas se ha logrado el objetivo del trabajo, que ha sido el de obtener un ranking de las Facultades basado en el rendimiento de los mismos. Dicho ranking de desempeño quedó conformado como sigue: Facultad de Ciencias Químicas (23,11%) como la de mejor desempeño, seguida por la Facultad de Ingeniería (21,76%), Facultad Politécnica (19,59%), Facultad de Ciencias Económicas (19,10%) y en último lugar, la Facultad de Ciencias Veterinarias (16,45%).

Para futuras investigaciones se sugiere aprovechar otras bondades de la metodología propuesta, por ejemplo, ampliando la cantidad de recursos energéticos involucrados, agregando consumos de combustibles fósiles, agua, entre otros, así como ahondando en la realización de revisiones y auditorías energéticas dentro de cada Facultad de la UNA.

5. REFERENCIAS

- [1] A. García, J. Dufour, J. Orellana, J. Peral, Á. Potenciano and N. Vizcaíno, *Gestión de la Eficiencia Energética en el Sector Terciario y la Administración Pública*. Madrid: AENOR Internacional, 2020, pág 136.
- [2] J. Pinzón Casallas and A. Corredor Ruíz, “Energy Characterization, Methodology and Results for a University Public Building”, In VII International Symposium On Power Quality-SICEL, Medellin, Nov. 2013.
- [3] T. L. Saaty, “How to make a decision”, European Journal of Operational Research vol. 48, número 1, Sept. 1990, páginas 9–26.
- [4] T. L. Saaty, " Decision Making whit the Analytic Hierarchy Process", Scientia Iranica Vol. 13, número 3, Julio 2002, páginas 215-229.
- [5] Pliego de Tarifas N° 20. Administración Nacional de Electricidad (ANDE), Paraguay, 2017, páginas 6-34.
- [6] R. Ure, E. Javier, F. Gonzales, and G. Arévalo, “Study of the Emissions of Greenhouse Gases Produced By the Packages of the Hydroelectric Power Stations of Peru,” Tecnia vol. 31, número 2, Julio 2021, páginas 1–10.
- [7] Anuario Estadístico de la UNA 2020. Universidad Nacional de Asunción (UNA), Paraguay, 2020, páginas 74-81



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022
