

# PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN DE UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA NUCLEAR A NIVEL NACIONAL MEDIANTE EL USO DE TÉCNICAS SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC) (\*)

Oswaldo Padilla <sup>(1)</sup>, Daniel Cañarte <sup>(1)</sup>, Gabriela Mora <sup>(1)</sup>, Nataly Zambrano <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción  
Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE  
Av. Gral. Rumiñahui, Sangolquí - Ecuador

(\*) Artículo ganador de la Primera Convocatoria de Movilidad 2015, en categoría Intermedia Estudiantes de VI y VII Nivel.

## RESUMEN

En el presente trabajo se presenta una propuesta metodológica para la ubicación de un Centro de Investigación de Energía Nuclear a nivel nacional mediante el uso de técnicas de SIG y Evaluación Multicriterio (EMC). Este proyecto surge de la necesidad de diversificar las fuentes de energía en el país, a través de la generación de energía más limpia y renovable. Para el análisis y modelización se utilizaron insumos proporcionados por el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) a escala 1:250.000 en formato vector y se analizaron criterios ambientales, sociales, espaciales, económicos con la utilización del Software ArcGis. Se rasterizaron las variables, se empleó álgebra de mapas y se les dio pesos en el Software Idrisi, en donde se realizó el análisis multicriterio. Como resultado se obtuvieron diferentes matrices de valoración: matriz de evaluación, matriz de valores normalizados, matriz de valores normalizados e invertida y matriz de valores normalizados e invertida con pesos basada en la metodología de evaluación multicriterio, con el fin de valorizar cada una de las alternativas resultantes. Se seleccionaron las mejores alternativas y se las caracterizó, con el fin de determinar su ubicación geográfica en el territorio nacional mediante una representación espacial. También se obtuvo un mapa general en escala 1:3'000.000 con las posibles ubicaciones a Nivel Nacional del Centro de Investigación de Energía Nuclear.

## ABSTRACT

In this paper, a methodological proposal for locationing of a Nuclear Energy Research Centre at Ecuador through GIS techniques and Multicriteria Evaluation (EMC) is presented. This project arises from the need to diversify energy sources at Ecuador, through the generation of clean and renewable energy. For analysis and modeling, inputs given by Military Geographic Institute (IGM) and Ecuadorian Espatial Institute (IEE) in scale 1:250.000 in vector format were used and environmental, social, spatial, economic criteria using the ArcGis software were analyzed. Variables were transformed and map algebra was used. So weights are given in Idrisi software, where multi-criteria analysis was performed. As a result, the evaluation matrix, normalized values matrix, standardized values and inverted matrix, standard values and inverted with weights based in Multicriteria Evaluation methodology, were obtained. The best alternatives were selected and characterized, to determine its geographic location in the country through spatial representation. Also, a general map n scale 3,000,000 was obtained with the possible locations of the Nuclear Energy Research Centre in Ecuador

Recibido: Marzo de 2015  
Aceptado: Abril de 2015

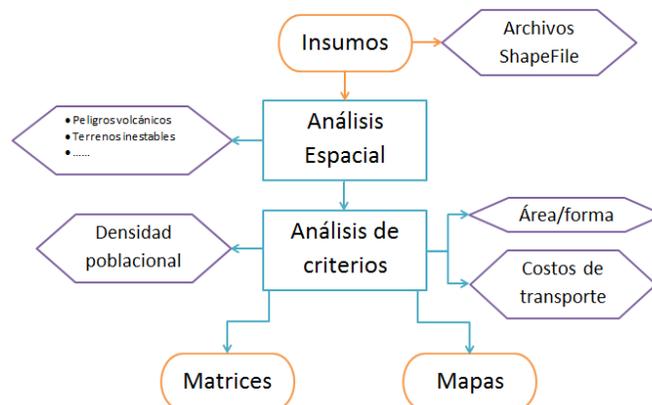
## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología en las últimas décadas ha ido evolucionando de manera considerable; esto ha sido beneficioso para las empresas en Ecuador, ya que se equipan con maquinarias con tecnología de vanguardia, las cuales optimizan el trabajo y minimizan costos. Por otro lado, en el Ecuador la población ha crecido significativamente. Comparando los dos últimos censos realizados por el INEC, en el año 2001, la población fue 12'481.925 habitantes, mientras que en el año 2010 fue de 14'306.876 habitantes. Los puntos mencionados anteriormente conllevan al consumo de un mayor número de recursos, entre ellos los energéticos.

Según el Plan Nacional del Buen Vivir 2009 - 2013, elaborado por la Senplades, el país apunta a un cambio a la matriz energética hasta el año 2020 en la producción de energías renovables y limpias, es decir amigables con el medio ambiente; como las hidroeléctricas, plantas eólicas, energía geotérmica, energía solar fotovoltaica y biomasa. Se plantea que una de las alternativas es la energía atómica, con la que aún no cuenta el país, ya que requiere pocos recursos en comparación con la quema de combustibles fósiles, además no genera emisiones a la atmósfera ni gases de efecto invernadero y no está sujeta a los constantes vaivenes del precio del petróleo y carbon (Jenijos, n.d). Las plantas de energía nuclear en la actualidad son mucho más seguras que las de hace algunos años, pues ahora se da prioridad a la seguridad de las mismas. Para dentro de 30 años se tiene previsto una mejora significativa para estas plantas en donde se implantarán: reducción de costos y de residuos, aumento de la seguridad y la resistencia a la proliferación a los materiales nucleares (RBTH, 2013).

En el presente estudio se describe la propuesta metodológica para la ubicación para la ubicación de un Centro de Investigación de Energía Nuclear a nivel nacional, aplicando técnicas de SIG y Evaluación Multicriterio (EMC).

## 2. PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS

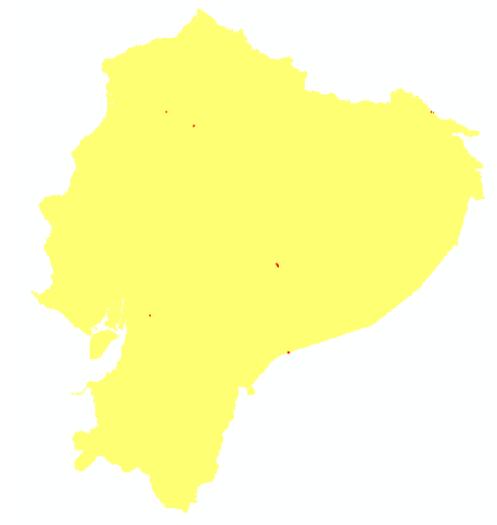


**Figura 1** Metodología utilizada

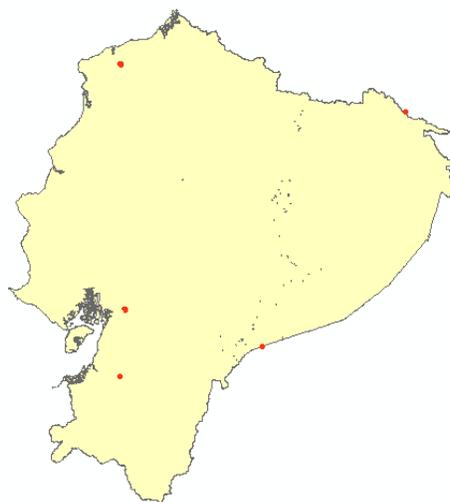
Se recopiló información en formato Shapefile de las zonas de Riesgo, Vías, Ríos y Población en el Ecuador, proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), a escala 1:250.000. Se realizó el análisis espacial sobre la plataforma ArcGis, en donde se aplicó una serie de operadores espaciales, obteniéndose restricciones de cada variable

(USNRC, 2014) para la ubicación del Centro de Investigación, obteniendo 25 parcelas como lo muestra la figura 2.

Posteriormente, se trabajó con la plataforma Idrisi Selva haciendo una selección de acuerdo al área y se obtuvo 5 parcelas como lo muestra la figura 3. Luego se analizaron 4 criterios importantes: área y forma de la parcela, costos de transporte y densidad poblacional; finalmente obteniéndose la localización de cada una de las posibles parcelas y después de algunos análisis se obtuvieron los datos para completar las matrices de evaluación necesarias.



**Figura 2** Resultado del análisis espacial



**Figura 3** Resultado del análisis espacial

### 3. RESULTADOS

Se obtuvieron varias matrices, las cuales permitieron realizar una valoración de las 5 parcelas más adecuadas.

**Tabla 1** Matriz de evaluación

MATRIZ DE EVALUACIÓN				
PARCELA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	FORMA DE LA PARCELA (RAZÓN CIRCULARIDAD)	COSTOS DE TRANSPORTE	DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/m <sup>2</sup> )
1	518400	0.37981156	4141.971601	22
2	825600	0.47931442	239.228779	1
3	870400	0.53000480	4319.548142	75
4	166400	0.60251844	10920.2752	4
5	640000	0.59081799	6037.715981	210
MAX	870400	0.60251844	10920.2752	210

**Tabla 2** Matriz de valores normalizados

MATRIZ DE VALORES NORMALIZADOS				
PARCELA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	FORMA DE LA PARCELA (RAZÓN CIRCULARIDAD)	COSTOS DE TRANSPORTE	DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/m <sup>2</sup> )
1	0.59558824	0.63037333	0.37929187	0.106014934
2	0.94852941	0.795518254	0.021906845	0.00451416
3	1	0.879649094	0.395553048	0.35910195
4	0.19117647	1	1	0.017070803
5	0.73529412	0.980580758	0.55289046	1

**Tabla 3** Matriz de valores normalizados e invertida

MATRIZ DE VALORES NORMALIZADOS E INVERTIDA				
PARCELA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	FORMA DE LA PARCELA (RAZÓN CIRCULARIDAD)	COSTOS DE TRANSPORTE	DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/m <sup>2</sup> )
	+	+	-	-
1	0.59558824	0.63037333	0.62070813	0.893985066
2	0.94852941	0.795518254	0.978093155	0.99548584
3	1	0.879649094	0.604446952	0.64089805
4	0.19117647	1	0	0.982929197
5	0.73529412	0.980580758	0.44710954	0

**Tabla 4:** Primera aproximación a los resultados

PARCELA	PRIMERA APROXIMACIÓN	RANKING
1	0.68516369	3
2	0.929406665	1
3	0.781248524	2
4	0.543526417	4
5	0.540746104	5

**Tabla 5:** Matriz de valores normalizados e invertida con pesos

MATRIZ DE VALORES NORMALIZADOS E INVERTIDA CON PESOS DELPHY				
PARCELA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	FORMA DE LA PARCELA (RAZÓN CIRCULARIDAD)	COSTOS DE TRANSPORTE	DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/m <sup>2</sup> )
	0.2	0.1	0.3	0.4
1	0.11911765	0.063037333	0.186212439	0.357594026
2	0.18970588	0.079551825	0.293427946	0.398194336
3	0.2	0.087964909	0.181334086	0.25635922
4	0.03823529	0.1	0	0.393171679
5	0.14705882	0.098058076	0.134132862	0

**Tabla 6:** Segunda aproximación a los resultados

PARCELA	SEGUNDA APROXIMACIÓN	RANKING
1	0.181490361	2
2	0.240219998	1
3	0.181414554	3
4	0.132851743	4
5	0.09481244	5

Las cinco parcelas más adecuadas para la ubicación del Centro de Investigación se presentan a continuación mediante una representación espacial, tanto general como individualmente:



**Fig 4:** Mejores alternativas de ubicación

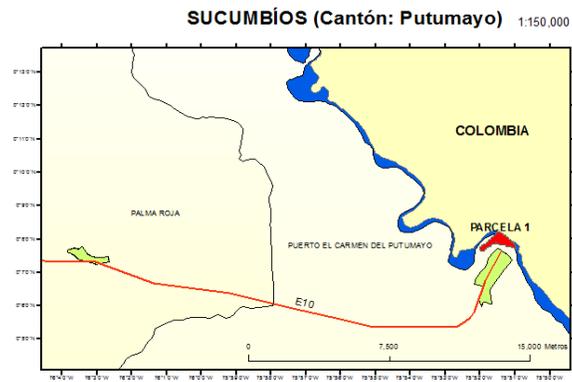


Figura 5 Parcela # 1: Prov. de Sucumbios

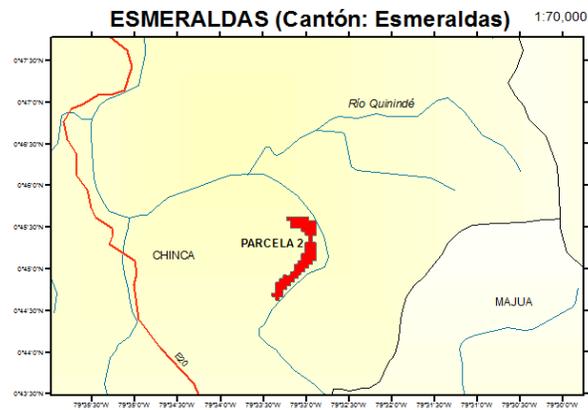


Figura 6 Parcela # 2: Prov. de Esmeraldas

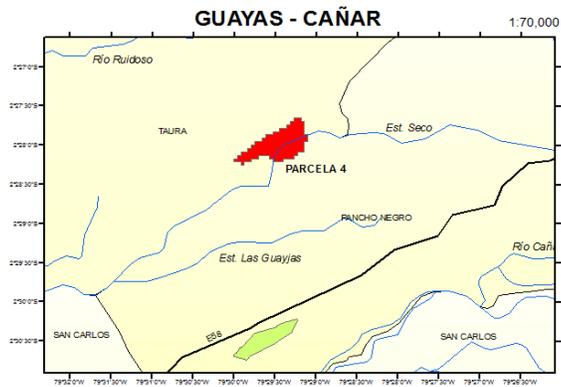


Figura 7 Parcela # 3: Entre las Prov. de Guayas y Cañar

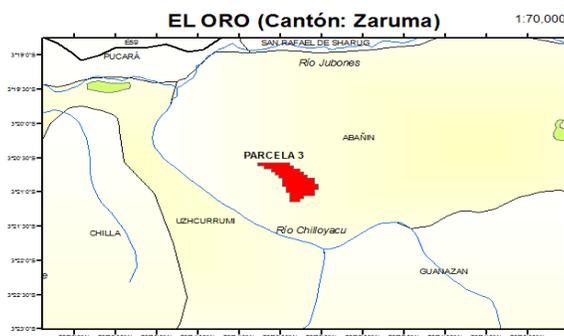


Figura 8 Parcela # 4: Prov. de El Oro

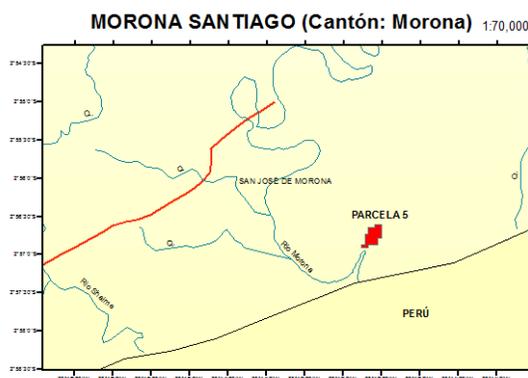


Figura 9 Parcela # 5: Prov. de Morona Santiago

## 5. CONCLUSIONES

- La energía nuclear se encuentra entre las fuentes alternativas más limpias y renovables del mundo, lo que permite apuntar un esfuerzo de los recursos nacionales hacia esta energía, ya que no que en sus insumos no se utiliza la quema con combustibles fósiles, por lo tanto no emite CO<sub>2</sub>.
- El manejo de las herramientas de los SIG permite modelar más del 80% de las bases de datos del mundo lo que lleva a entender la importancia que tiene en la buena toma de decisiones. (Del Bosque, n.d.)
- La zona de estudio en la que se realizó este proyecto es a nivel país (Ecuador) en donde se analizaron factores sociales, económicos y ambientales, para lo cual se establecieron las características necesarias tales como las restricciones de zonas de riesgo, tipos de zonas con densidad poblacional media, cercanía a vías y cuerpos de agua, calidad del suelo, entre otros. Con esta información se generaron diferentes modelos cartográficos que permitirán replicar este estudio.

- Se analizaron los aspectos de densidad poblacional en sus cercanías, costos de transporte desde la población hacia las parcelas, área y forma de las parcelas como criterios decisivos para la ubicación del Centro de Investigación.
- A través de la reclasificación se encontraron cinco parcelas en las provincias de Sucumbíos, Esmeraldas, Morona Santiago, entre Guayas y Cañar y el Oro, en donde sería factible localizar el Centro de Investigación.
- De acuerdo a las matrices de evaluación, se obtuvo que la parcela más adecuada para la aplicación de este proyecto es la Provincia de Sucumbíos en el Cantón Putumayo, Parroquia Puerto El Carmen de Putumayo, sin descartarse el resto de posibilidades, ya que de existir algún tipo de limitación o problemática en la ubicación, se podría escoger cualquiera de las otras opciones resultantes.
- Se continuará en la ampliación de la presente investigación; y uno de los aspectos a ahondar será la consideración de mayor número de factores, como por ejemplo las cuestiones limítrofes.
- Las técnicas de Evaluación Multicriterio EMC permiten valorar toda clase de variables de diversos tipos, lo cual permite dar una aproximación de un modelo sobre donde ubicar geográficamente el Centro de Investigación de una Central Nuclear en el país. (Gómez, M. & Barredo, J., 2005).

## 6. REFERENCIAS

1. Del Bosque, Joaquín (n.d). SIG y evaluación multicriterio, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. Online en: <http://www.geogra.uah.es/joaquin/ppt/Evaluacion-multicriterio.pdf>
2. Gómez, M. & Barredo, J. (2005). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. Alfayomega Grupo Editor. Páginas 43 y 44.
3. Jenijos (n.d.), Centrales Nucleares. Online en: [http://www.jenijos.com/CENTRALESNUCLEARES/centrales\\_nucleares.htm](http://www.jenijos.com/CENTRALESNUCLEARES/centrales_nucleares.htm)
4. RBTH (2013). Energía Nuclear sin peligros. Online en: [http://es.rbth.com/cultura/tecnologias/2013/07/11/energia\\_nuclear\\_sin\\_peligros\\_utopia\\_o\\_realidad\\_29947.html](http://es.rbth.com/cultura/tecnologias/2013/07/11/energia_nuclear_sin_peligros_utopia_o_realidad_29947.html)
5. Senplades (2007). Plan Nacional del Buen Vivir. Online en: <http://plan.senplades.gob.ec/estrategia7>
6. United States Nuclear Regulatory Commission, USNRC (2014). Funcionamiento de una central de energía nuclear. Online en: [http://energianuclear.net/como\\_funciona\\_la\\_energia\\_nuclear.html](http://energianuclear.net/como_funciona_la_energia_nuclear.html)