CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS NO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE TRECHO DO RIO XINGU – AMAZÔNIA ORIENTAL

Eder Mileno Silva De Paula[1,2], Adryane Gorayeb[2]. [1]Universidade Federal do Pará. [2]Programa de Pós-Graduação em Geografia/Universidade Federal do Ceará. edermileno@ufpa.br

Conhecer as formas e os processos atuantes na elaboração do relevo permite avaliar níveis de estabilidade da paisagem, e, consequentemente, discernir sobre a sua capacidade de suporte as ações humanas. Neste sentido, o mapeamento geomorfológico é componente base no entendimento geossistêmico das paisagens para fins de planejamento ambiental. A área de estudo localiza-se na foz do rio Xingu, onde está o Arquipélago do Embaubal, constituindo um ambiente fluvial formado por processos deposicionais e erosivos. Possui paisagens de várzeas com formações arbóreas e solos consolidados, e outras paisagens em grande parte constituídas por sedimentos pouco consolidados e recobertos por formações vegetais herbáceas e arbustivas. Esse trecho do rio Xingu está passando por mudanças irreversíveis na sua dinâmica fluvial em decorrência da construção das obras para Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, justificando, assim, a necessidade de estudos que apoiem ações de conservação ambiental. O objetivo da pesquisa foi elaborar o mapeamento geomorfológico de feições terrestres e subaquáticas de trecho do rio Xingu, utilizando técnicas de processamento e classificação digital de imagens nas regiões do visível, infravermelho e de microondas do espectro eletromagnético. Dentre as técnicas de processamento de imagens disponíveis no SPRING5.2.6 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), utilizou-se os contrastes, filtros, operações aritméticas entre imagens, classificação supervisionada e reclassificação temática, sendo que as informações resultantes dos processamentos das imagens Landsat foram confrontadas com as informações obtidas nas pesquisas bibliográficas, documentais e nas visitas técnicas a campo. A metodologia permitiu o mapeamento das feições planícies insulares inundáveis, praias temporárias, depósitos de canal submersos. Percebeu-se que a aplicação de filtro na faixa do vermelho do espectro eletromagnético permite interpretar e mapear feições geomorfológicas submersas em áreas extensas e com constituintes orgânicos e inorgânicos dissolvidos sem a necessidade de levantamentos batimétricos. A metodologia também permiti o mapeamento da evolução geomorfológica de trechos de rios com características semelhantes ao encontrado no rio Xingu.

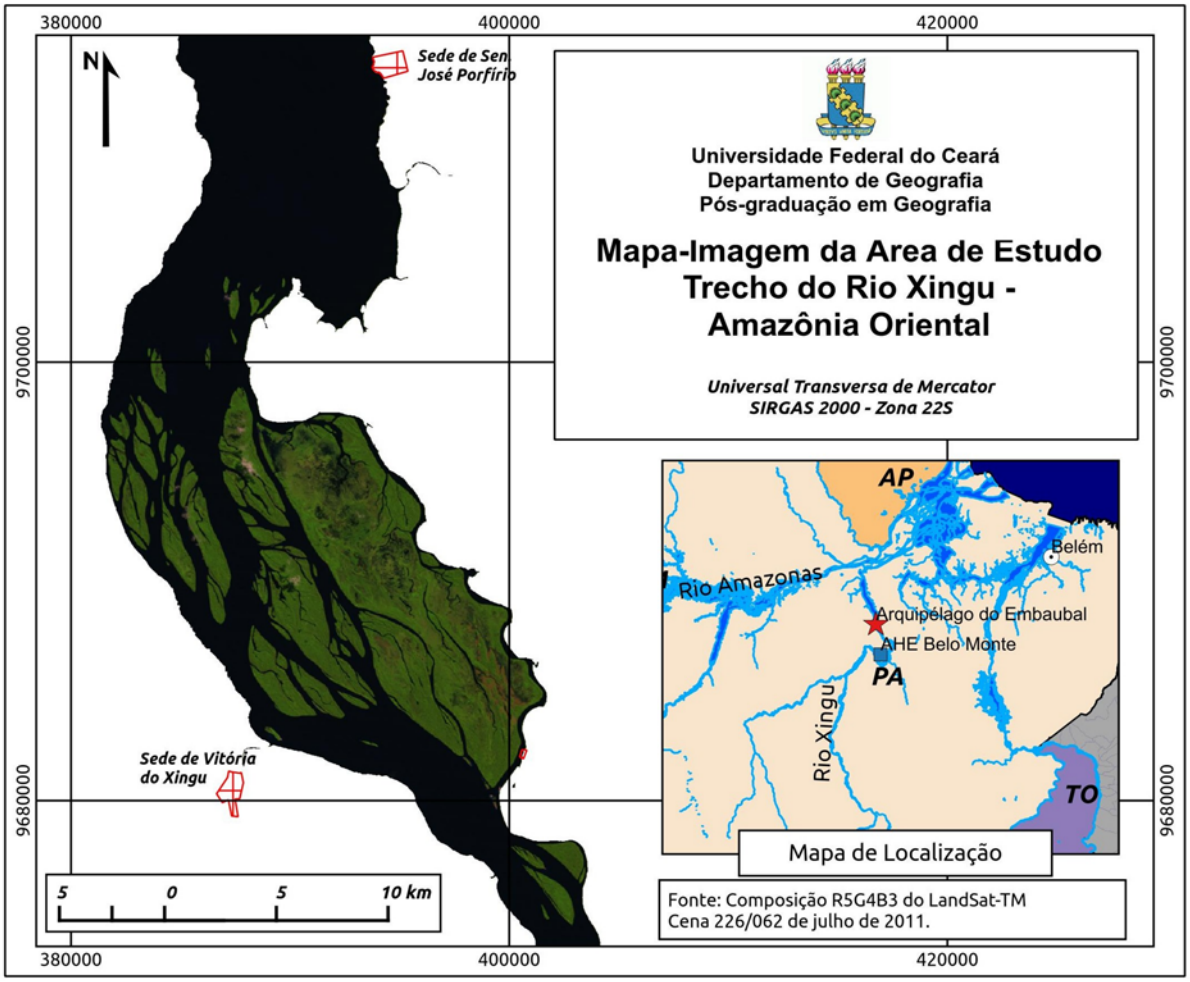
Palavras chaves: Sensoriamento Remoto; Sistema de Informação Geográfica; Arquipélago do Embaubal; Evolução Geomorfológica

1. INTRODUÇÃO

Compreender as formas do relevo e os processos atuantes na sua elaboração, permite avaliar níveis de estabilidade da paisagem (Tricart, 1977), e, consequentemente, discernir sobre a sua capacidade de suporte as ações humanas (Souza, 1998). Assim, o mapeamento geomorfológico torna-se componente base no entendimento geossistêmico das paisagens para fins de planejamento ambiental. Esse artigo tem como objetivo demonstrar proposta metodológica envolvendo técnicas de processamento e classificação de imagens da região do visível e infravermelho para interpretação e mapeamento geomorfológico de feições terrestres e subaquáticas em áreas extensas. A aplicação dessa metodologia somado a periodicidade de informações possíveis nos sensores orbitais, permiti a elaboração de estudos evolutivos de relevo submerso e terrestre, sem necessitar de métodos de levantamentos batimétricos, por vezes dispendiosos de recursos econômicos e de tempo.

Selecionou-se para aplicação metodológica trecho do rio Xingu na Amazônia Oriental, que contem o Arquipélago do Embaubal (Figura 1). Esse trecho de rio é considerado uma ria (BRASIL, 1974) efetivada pela soerguimento do mar, que provoca diminuição substancial da velocidade do rio fazendo que o mesmo deposite sua carga de sedimentos suspensos (JENSEN, 2011) formando planícies inundáveis e depósitos de canal temporários.

Figura Mapa-Imagem da Área de Estudo, Trecho do Rio Xingu – Amazônia Oriental



A montante desse trecho de rio estão em construção barramentos, canais, diques, reservatórios, dentre outras obras para aproveitamento hidrelétrico. E a exemplo de outras obras com barramento do fluxo fluvial natural, o rio Xingu com a construção do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, terá uma nova dinâmica geomorfológica (MAKKAVEYEV, 1972; CUNHA, 2008). Assim, além da descrição do percusso metodológico para o mapeamento das feições de relevo submersas, essa pesquisa pode apoiar as ações de planejamento e de gestão ambiental deste trecho do rio Xingu.

2. MÉTODOS E TÉCNICAS

A pesquisa contou com três etapas principais: Pesquisa Bibliográfica e Documental; Visitas Técnicas a Campo; Realce e Classificação das Feições Geomorfológicas.

Concordando com Florenzano (2008) sobre interpretação de imagens, para identificação das feições geomorfológicas mostrou-se necessário conhecimento conceitual e prático relacionado ao Sensoriamento Remoto e à Geomorfologia Fluvial, assim como conhecimentos de especificidades locais.

Foram realizadas visitas à área de estudo nos anos de 2011 e 2012 para reconhecimento das feições em períodos de inundação (dezembro a julho) e em nível mínimo normal (agosto a novembro). Teve-se como referências documentais os mapeamentos geológico e geomorfológico do Projeto RADAM (BRASIL, 1974) e o mapeamento geológico do Programa Geológico Brasileiro (BRASIL, 2004). Christofoletti (1980), Cunha (2008), Novo (2008b), Jensen (2011) e IBGE (2009) balizaram o conhecimento sobre mapeamento geomorfológico.

Lafon et al (2002, JENSEN 2011) Sena et al (2009) Cordeiro et al (2011) e Duarte et al (2013) usaram imagens do SPOT, do LANDSAT-5, do IRS-P6 e do CBERS-2B para estudos com objetivos semelhantes ao deste, sendo que nesta pesquisa escolheu-se imagens do acervo do programa LANDSAT, em acordo com a escala de mapeamento escolhida, 1:100.000.
Utilizou-se parte da cena 225/062 do dia juliano 185 (4 de julho) de 2011 com correção geométrica do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite LANDSAT 5, por possuir baixa presença de nuvens e corresponder a data/período do levantamento de campo.
As imagens passaram por correções radiométricas e atmosférica de acordo com os parâmetros e fórmulas indicados em Chander, Markham e Helder (2009). Foram aplicadas técnicas para realce de feições disponíveis no SPRING5.2.6, tais como: contrastes, filtros e operações aritméticas entre imagens. E selecionaram-se os produtos que permitiram a melhor discriminação das feições submersas e terrestres.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No início da classificação digital das imagens dois procedimentos devem ser executados quando se vislumbra uma análise evolutiva de dados provenientes de diferentes sensores e plataformas, a saber: correção radiométrica e correção atmosférica (CHANDER, MARKHAM e HELDER, 2009). Apesar de não ser objetivo dessa pesquisa, realizou-se os procedimentos para que os mapeamentos resultantes fiquem aptos para uma posterior análise evolutiva da paisagem.
A correção radiométrica reescalona os números digitais brutos (Q) transmitidos pelos satélites em números digitais calibrados, assim os dados são convertidos para unidades de radiância espectral absoluta. Já a correção atmosférica converte as imagens para reflectância do topo da atmosfera (TOA) reduzindo as variação cena-cena de períodos diferentes (CHANDER, MARKHAM e HELDER, 2009).
A correção atmosférica ainda remove o efeito cosseno de diferentes ângulos zenital solar, devido à diferença de horário entre as aquisições de dados, compensa a diferença de valores de irradiação solar exoatmosférica decorrente da diferenças de banda espectrais, e corrige a variação da distância Terra-Sol entre a aquisição de dados de diferente datas. Sendo que essas variações podem ser significativas espaço-temporalmente (CHANDER, MARKHAM e HELDER, 2009).
A equação 1 é a união das equações propostas em Chander, Markham e Helder (2009) para procedimento de correção radiométrica e atmosférica.

Equação 1: Correção Radiométrica e Atmosférica conforme Chander, Markham e Helder (2009)
Sendo:
ρ_λ = Reflectância no topo da atmosfera
π = Constante matemática 3,14159
d = Distância Terra-sol
$ESUN_\lambda$ = Irradiação solar exoatmosférica média
θ_s = Ângulo Zenital Solar
Q_{cal} = Valor do Pixel
$G_{rescale}$ = Fator de ganho de reescalonamento especifico da Banda
$B_{rescale}$ = Fator de tendência de reescalonamento especifico da Banda

Mapeamento das feições submersas
Os levantamentos batimétricos constituem a principal base para mapeamento geomorfológico das feições submersas, podendo ser realizados por equipamentos topográficos ou com auxílio de sensores remotos ativos e passivos. Sendo que levantamentos com maior capacidade de detalhamento em áreas extensas utilizam produtos oriundos de SONAR (Sound Navigation and Ranging) e LIDAR (Light Detection and Ranging) (JENSEN, 2011).

Aplicou-se várias técnicas de realce de imagem disponíveis no SPRING5.2.6, sendo que somente a aplicação de Filtro e de Contraste resultou em produtos úteis para o mapeamento das feições geomorfológicas subaquáticas temporárias ou permanentes.
O contraste é considerado o processamento mais simples que imagens digitais podem ser submetidas (NOVO, 2008). Optou-se por aplicar os contrastes implementados no SPRING5.2.6, sendo que o algorítimo Equalização de Histograma foi o que permitiu a melhor identificação visual dos alvos submersos, por ter expandido os níveis de cinza ao longo de todo o intervalo, através de uma transformação não-linear que considera a distribuição acumulativa da imagem (CÂMARA, 1996).
A analise dos resultados do contraste Equalização de Histograma nas banda de 1 a 7 do Landsat 5, mostrou que a Banda 3 detém registros mais detalhados das feições submersas, em relação as demais bandas (Figura 2). Sendo que Mertes et. al. (1995), Sena et. al. (2009), Cordeiro et. al. (2011) e Duarte et. al. (2013) também indicam a faixa do vermelho em seus estudos.

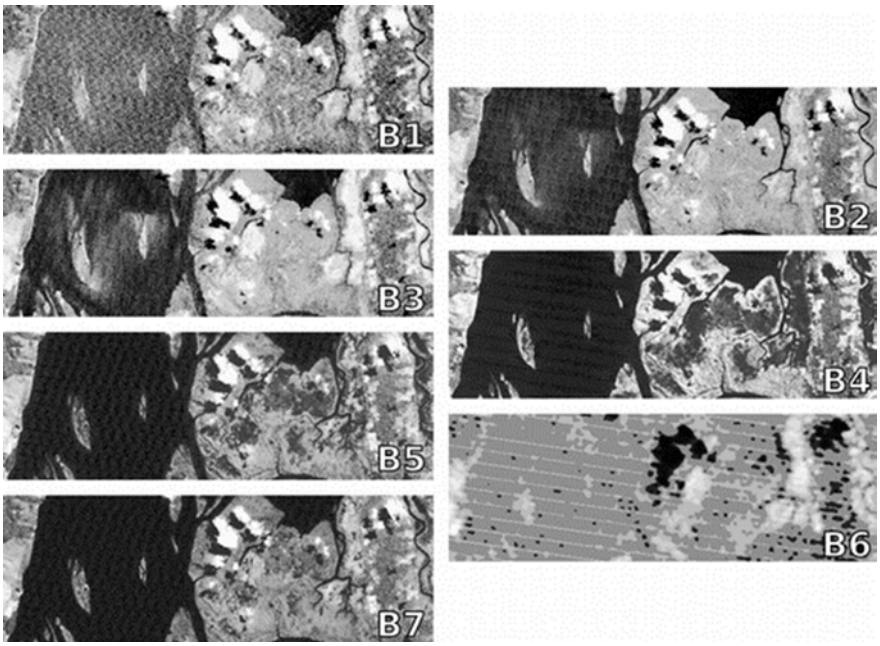
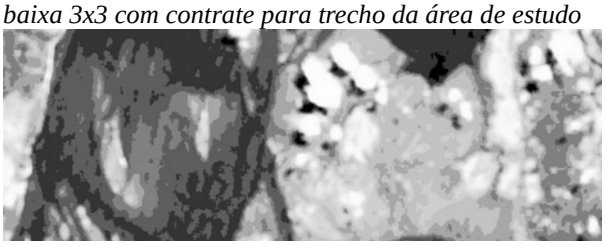


Figura 2: Bandas 1 a 7 do LANDSAT 5 com contraste Equalizador de Histograma para trecho da área de estudo.

Em Brasil (2014) há indicação da banda 1 (0,45 – 0,52μm) do LANDSAT 5 para levantamentos batimétricos, entretanto Jensen (2011) indica que os levantamentos batimétricos nessa porção espectral requerem que a água esteja livre de constituintes orgânicos e inorgânicos.
Conforme a classificação geral proposta por Sioli (1984) para a região amazônica, o rio Xingu tem suas águas classificadas como água preta, com domínio de cargas dissolvida, sendo que nesse tipo de água Legleiter et al. (2004) observam que comprimentos de onda entre 0,56 e 0,69μm proporcionam melhores respostas das feições submersas.
A aplicação do Filtro Linear Passa Baixa Média 5x5 na faixa do vermelho permitiu atenuar os efeitos de ruídos provocado pela diferença de sensibilidade dos detectores do sensor remoto, e preservou os componentes de baixa frequência, ou seja, realçou as feições submersas. As feições submersas têm baixa frequência espectral nas imagens, e que os demais filtros implementados no SPRING5.2.6 ora não permitiram a discriminação das feições submersas, ora não atenuaram o ruído provocado pelo sensor TM. Os filtros são aplicados no domínio espacial e espectral das imagens, sendo que os filtros mais comuns são os lineares, morfológicos e os de textura (NOVO, 2008a).

A imagem resultante do processo de realce das feições geomorfológicas submersas (Figura 3) foi classificada de forma supervisionada pelo valor do pixel. Esse processo classificatório atribui a cada pixel da imagem um rótulo de acordo com classes preestabelecidas. O classificador Máxima Verossimilhança ponderou as distâncias entre médias dos níveis digitais das classes PPlanícies Insular de Inundação Fluvial; Depósitos de Canal de Nível 1, Depósitos de Canal de Nível 2; e Depósitos de Canal de Nível 3 .

Figura 3: Resultado da aplicação de filtro passa média baixa 3x3 com contrate para trecho da área de estudo



Mapeamento das feições terrestres

A distinção das feições dos limites das feições terrestres foi realizado através de operações aritméticas entre as faixa do vermelho e infravermelho do espectro eletromagnético, respectivamente as bandas 3 e 4 do sensor TM do LANDSAT 5, e reclassificação temática de acordo com documentos cartográficos do projeto RADAM.

A equação 2, calculou o Índice de Vegetação De Diferença Normalizada (NDVI), o qual proporciona imagem com valores que variam entre -1 e 1, que aumentam o contraste espectral entre a vegetação e o solo.

Equação 2: Cálculo do NDVI $NDVI = (Banda4 - Banda3)x\,(Banda4 + Banda3)$

Da imagem resultante do NDVI extraiu-se o limite das Planícies Insulares de Inundação Fluvial, que foram sobrepostas ao mapeamento, e no processo de reclassificação temática, as áreas na imagem cobertas por nuvens, sombras de nuvens e as Superfícies de Aplainamento Insular foram reclassificados através de técnicas de classificação visual.

Unidades Geomorfológicas

A figura 4 representa o mapeamento resultante da aplicação metodológica, onde foram mapeados 5 unidades geomorfológicas: Superfícies de Aplainamento Insular; Planícies Insular de Inundação Fluvial; Depósitos de Canal de Nível 1, Depósitos de Canal de Nível 2; e Depósitos de Canal de Nível 3.

Na tabela 1 tem-se a área de cada unidade geomorfológica mapeada para área de estudo, e pode-se observar um equilíbrio nos processos de formação do arquipélago, com parte das ilhas sendo formadas principalmente por processos de erosivos, e a outra parte, principalmente por processos de acumulação.

As áreas mapeadas como Superfícies de Aplainamento Insular, tratam-se de ilhas de formação erosiva em rochas sedimentares do Terciário, rochas da Formação Barreiras (BRASIL, 2004), com cobertura vegetal arbórea, arbustiva e herbácea típicas de várzeas da amazônia oriental. Estás áreas foram nitidamente desagregadas do continente, ou seja, foram transformadas em ilhas, pelo

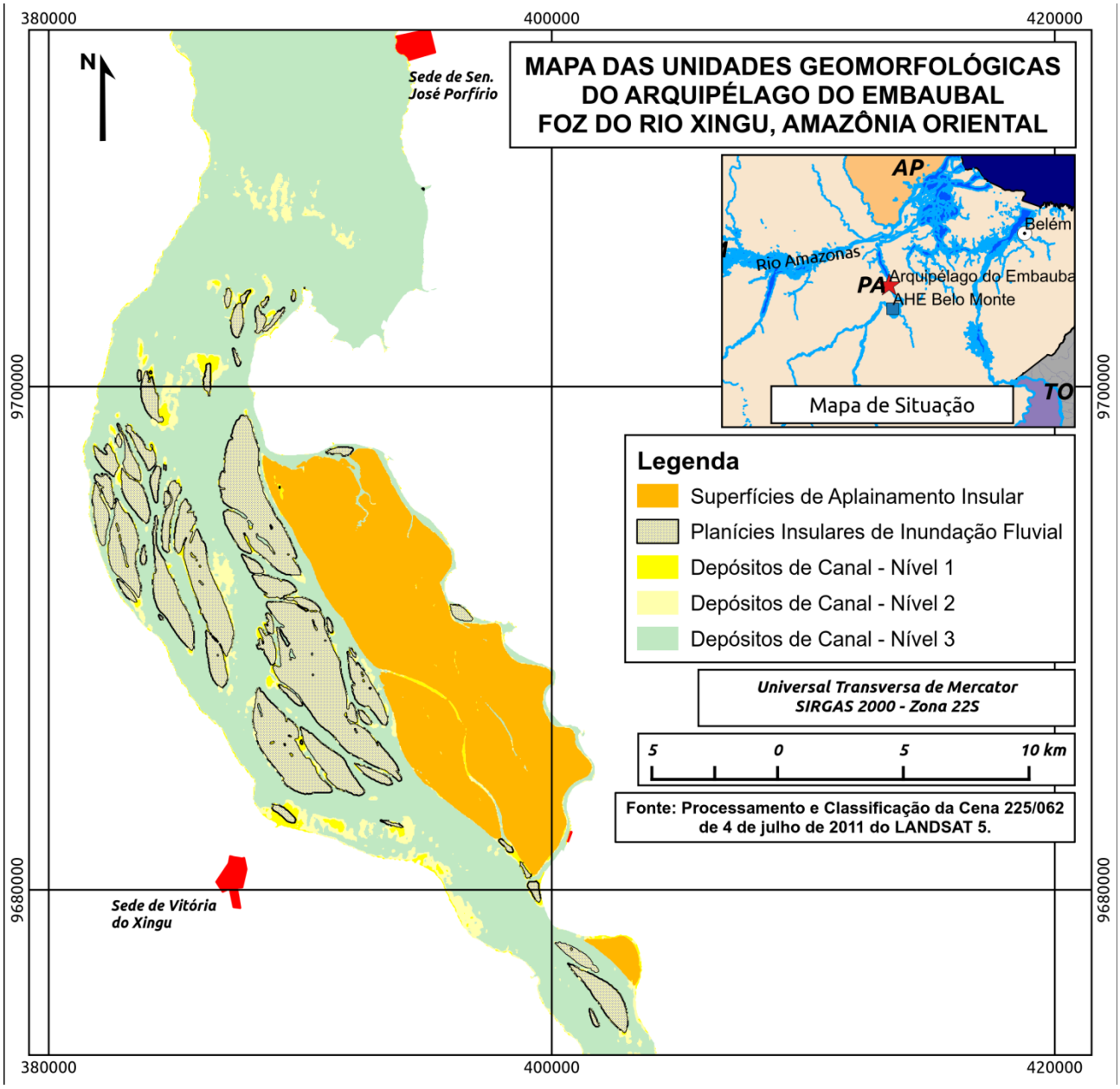


Figura 4: Mapa das Unidades Geomorfológicas do Arquipélago do Embaubal - Foz do Rio Xingu - Amazônia Oriental

entalhamento promovido por rios, como igarapé Tamanduazinho, na margem direita do rio Xingu, aliado ao processo de soerguimento das águas do oceano atlântico, que elevam o nível de base local. As Superfícies de Aplainamento Insular são parcialmente ou totalmente inundadas durante os períodos de cheias do rio Xingu.

Unidade Geomorfológica	**Área (km²)**
Superfícies de Aplainamento Insular	85,9
Planícies Insulares de Inundação Fluvial	61,8
Depósitos de Canal – Nível 1	7,56
Depósitos de Canal – Nível 2	18,9
Depósitos de Canal – Nível 3	247,98
Total	**422,14**

Tabela 1: Área das Unidades Geomorfológicas do Arquipélago do Embaubal - Foz do Rio Xingu - Amazônia Oriental

As Planícies Insulares de Inundação Fluviais constituem os depósitos de canais mais antigos na área de estudo, constituídos por sededimentos Quaternários cobertos por vegetação arbórea e arbustiva de várzea típicas da amazônia oriental. São periodicamente inundados pelas águas do rio Xingu no período de cheias. E é no entorno dessas planícies insulares que se formam as praias temporárias insulares.

As praias temporárias insulares estão contidas na classe Depósitos de Canal – Nível 1, que está localizada no entorno das ilhas fluviais e nas margens do rio Xingu. Surgem no período de vazante dos rios, e são constituídas por sedimentos quartzosos. Essas praias poderiam ser mapeadas sem a necessidade de realce de feições no período de nível mínimo do rio Xingu, porém imagens na região espectral do visível com cobertura de nuvens adequada para execução do mapeamento no período de vazante são raras em virtude da alta cobertura de nuvens no período.

Depósitos de Canal - Nível 2 constituem locais de deposição sedimentar temporários ou permanentes que podem originar novas praias fluviais (NOVO, 2008b). E os Depósitos de Canal - Nível 3 correspondem à região de maior profundidade do canal com processos erosivos mais atuantes.

4. CONCLUSÕES

Através do processamento e classificação de imagens na faixa do vermelho da região do visível, para águas com constituintes orgânicos e inorgânicos dissolvidos, é possível interpretar e mapear feições geomorfológicas submersas em áreas extensas sem auxílio de tecnologias como SONAR e LIDAR.

A simples aplicação de contraste permitiu a distinção da faixa mais adequada para o mapeamento das feições geomorfológica submersas. A aplicação de filtro linear passa-baixa na faixa do vermelho do espectro eletromagnético resultou em produto útil para processo de classificação de feições geomorfológicas submersas.

O uso do Filtro Linear Passa Baixa Média na faixa do vermelho permitiu atenuar os efeitos de ruídos provocados pela diferença de sensibilidade dos detectores do sensor remoto, e preservou os componentes de baixa frequência.

Apesar da qualidade dos dados oriundos do sensores remotos e do nível tecnológico atual dos SIG's, é essencial a análise de documento cartográficos de outras épocas e escalas de mapeamento, assim como visitas técnica de campo.

A metodologia dessa pesquisa proporciona mapeamentos que podem auxiliar a navegação e o planejamento ambiental, embora não podendo ser utilizados de forma exclusiva.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. (1974) Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam: Folha SA.22 Belém – Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro.

Brasil. (2004) Serviço Geológico do Brasil. Programa Geologia do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: SA.22 – Belém. Brasília. CD-ROM

Brasil.(2014) Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Ministério da Ciência e Tecnologia. Os satélites LANDSAT 5 e 7. Principais características e aplicações das bandas TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 12 jun. 2014.

Camara, G et al. (1985) SPRING: Integrating remote sensingand GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

Chander, G., B. L. Markham, D. L. Helder (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 113, 893-903.

Chen, H. S. Space remote sensing systems: An introduction. Orlando Academic Press, Inc., 269 p.

Christofoletti, A. (1980) Geomorfologia. São Paulo: Editora Blucher. 12ª reimpr.,
Cordeiro, E. F. et al. (2011) Caracterização de feições morfoestruturais submersas na região do estuário do Rio Jaguaribe (CE) a partir do processamento de imagens Landsat 5 TM. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7426
Cunha, S. B. (2008) Geomorfologia Fluvial. In: Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. (org.) Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 20ed., Bertrand Brasil. p. 211-252.
Duarte, C. R. et al. (2013) Realce de feições emersas e submersas no estuário do Rio Choró (CE) através do processamento de imagens Landsat 5 TM e IRS-P6 LISS III. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE . Disponível em www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1160.pdf acesso em 21/05/2014.
Florenzano, T. G. (2008) Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: Florenzano, T. G. (Org.). Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo: Oficina de Textos.
IBGE. (2009) Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual técnico de geomorfologia. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE. 182 p.
Jesen, J. R. (2011) Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução José Carlos Neves Epiphanio (Coordenador)... [et al.]. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011. 2ªed.
Lafon, V., et al. (2002) SPOT Shallow Water Bathymetry of A Moderately Turbid Tidal Inlet Based on Field Measurements. Remote Sensing of Environment, 81: 136-148. 2002.
Legleiter, C. J., et al. (2004) Passive Optical Remote Sensing of River Channel Morphology and in-stream Habitat: Physical Basis and Feasibility. Remote Sensing of Environment, 93: 493-510.
Novo, E. M. L. M. (2008a) Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Blucher.
Novo, E. M. L. M. (2008b) Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo: Oficina de Textos. p. 219-246
Makkaveyev, N. I. (1972) The imapact of large water enginnering projects on geomorphic process in stream valleys. Soviet Geography: Review and Transactions. 13: 387-393, 1972.
Mertes, L. A. K., et al. (1995) Spatial patterns of hydrology, geomorphology, and vegetation on the floodplain of the Amazon river in Brazil from a remote sensing perspective. Geomorphology, Volume 13, Issues 1–4, September. Pages 215-232
Sena, I. P. da S. et al.(2009) Uso de imagens CBERS2B-CCD para mapeamento de feições submersas na Folha Touros-RN (SB.25-V-C-II). Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2185-2191.
Sioli, H. (1984) The Amazon and its main aflluents: hydrography, morphology of the river courses and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). The Amazon: limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin. Boston: Dr. W. Junk, 1984.
Souza, M.J.N. de. (1998) Análise Geoambiental e Ecodinâmica da Paisagem do Estado do Ceará - Tese de Professor Titular, UECE. Fortaleza.
Tricart, J. (1977) Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN. 91 p. il. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1)

LOS SIG Y LA INTEGRACIÓN IBEROAMERICANA A PARTIR DEL USO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.

[1] María Rodríguez G., [1]Antonio Vázquez P., [2]Javier Domínguez B., [3]Ricardo Quijano H. [4]Ciaddy R. Rodríguez B.,
[1] Universidad Técnica de Manabí (UTM), Ave. Universitaria, Portoviejo. mariarodrigez@utm.edu.ec, antoniov0506@gmail.com
[2] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), España. E_mail:javier.dominguez@ciemat.es,
[3]Universidad Nacional de Colombia, rquijano@unal.edu.co.
[4]Corporación Eléctrica Nacional de Venezuela (CORPOELEC). reginacuba77@gmail.com.

RESUMEN

Desde hace varios años, se han desarrollado algunas experiencias en el campo de las fuentes renovables de energías (FRE), colaborando a promocionar la integración Iberoamericana. Estas experiencias han estado vinculadas con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para diferentes objetivos, como estudios e inventarios de recursos renovables o el planeamiento energético (estudios de estrategias, toma de decisiones y el desarrollo local).

El Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), ha realizado durante varios años esfuerzos de colaboración con Cuba y otros países del área, encaminados al desarrollo de las FRE, centrándolo en la cooperación internacional y reportando avances para la integración regional iberoamericana.

Países como Colombia, Venezuela, Guatemala, México, Argentina o Cuba, se encuentran realizando estudios del potencial de sus recursos renovables, de forma tal, de poder estimar adecuadamente la capacidad energética disponible, que los resultados se puedan implementar en los territorios para elevar las condiciones de vida de la población y en muchos casos, mejorar el hábitat rural.

Los SIG han venido a revolucionar los estudios integrales en el conocimiento del papel de las FRE, en su dimensión territorial y social, conjugando de forma acertada el papel de las renovables, en el desarrollo local de muchos países del área Iberoamericana.

Palabras claves: sig, fuentes renovables energías, integración regional, desarrollo local.

ABSTRACT

"The Geographical Information Systems (GIS) and the Ibero-American integration starting from the use of the renewable energy sources".

For several years, some experiences have been developed in the field of the renewable sources of energies (RSE), collaborating to promote the Ibero-American integration. These experiences have been linked with the application of the Geographical Information Systems

(GIS) for different objectives, as studies and inventories of renewable resources or the energy (studies of strategies, taking of decisions and the local development) planning.

The Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), has carried out during several years efforts of collaboration with Cuba and other countries of the area, guided to the development of RSE, centering it in the international cooperation and reporting advances for the regional Ibero-American integration.

Countries like Colombia, Venezuela, Guatemala, Mexico, Argentina or Cuba, they are carrying out studies of the potential of their renewable resources, in a such way, of being able to estimate the energy available capacity that the results can be implemented in the territories to elevate the conditions of the population's life appropriately and in many cases, to improve the rural habitat.

SIG has come to revolutionize the integral studies in the knowledge of the paper of RES, in their territorial and social dimension, conjugating in a guessed right way the paper of the renewable ones, in the local development of many countries of the Ibero-American area.
key Word: gis, renewable energy source local, regional integration, local development

INTRODUCCIÓN

Lo SIG actualmente constituyen un instrumento necesario en la gestión y la planificación territorial. Desde hace tiempo son unas herramientas muy útiles en la integración de elementos vinculados a la optimización y uso adecuado del territorio.

Las fuentes renovables de energía (FRE) se encuentran distribuidas de forma global por todo el planeta. Esta cualidad privilegia su uso, ya que alguna de las fuentes siempre puede ser utilizada en cualquier lugar con la limitante del uso del suelo, que también puede ser gestionado.

La preeminencia de los SIG radica en que pueden gestionar desde pequeños hasta grandes territorios, además de incorporar diferentes temas de análisis, que de una forma u otra, son capaces de relacionarse.

El uso de la energía es una necesidad vital, su gestión mediante un SIG permite resolver problemas comunes en zonas que no presentan características similares, como por ejemplo: cuando se hacen análisis de áreas de influencia, todo lo que se encuentra en ese entorno, pudiera tener soluciones típicas (la contaminación provocada, las pérdidas de energía por trasmisión, el aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos, etc.). Esto implica que los resultados de las investigaciones pueden aplicarse de forma integradora y en una escala regional.

En los estudios de estrategias 100 % renovable desarrollados por Greenpeace [1], se hace un análisis de los costos detallados para cada tipo de fuente de energía renovable en diferentes regiones. Estos estudios lo realizaron utilizando un SIG como herramienta, que integraba diferentes variables para mostrar la solución de un problema complejo.

Ya desde la mitad de la década de los 90, el CIEMAT, aprovechando el marco del Programa de investigación de la Unión Europea JOULE II, y con el objetivo de desarrollar una aplicación SIG, capaz de evaluar el potencial regional de varios tipos de sistemas de electrificación descentralizada, propuso la implementación de estas herramientas para integración regional [2], fundamentando su uso para la planificación energética. Esta experiencia mejorada se aplicó más tarde a otros territorios.

La amplia distribución geográfica de los recursos renovables, la modularidad y los beneficios ambientales, tanto a escala local como global, hacen de los SIG una herramienta universal en las aplicaciones vinculadas con el esquema energético. Entre las diversas aplicaciones de los SIG se reportan: la evaluación de recursos regionales y locales; la localización de emplazamientos para instalaciones de transformación energética; y la evaluación de la competitividad territorial de las FRE frente a las fuentes convencionales. En la mayoría de estas aplicaciones, predomina una visión técnico-económica frente a una aproximación más geográfica o ambiental. Para conseguir una integración efectiva, es necesario superar esta dialéctica con un planeamiento integrado, que combine el sistema energético, el económico, el social, el ambiental y el territorial [3].

A pesar de los esfuerzos realizados por diferentes países para reducir los impactos ambientales provocados por la generación de energía, en la actualidad predominan los combustibles fósiles en la matriz energética mundial, no obstante ya se muestran acciones concretas en la disminución de los suministros convencionales, el aprovechamiento de las fuentes renovables, el ahorro y la eficiencia energética, sólo por nombrar algunos. Estas acciones dependen de los intereses de los organismos o instituciones, que diseñan y deciden los escenarios energéticos.

Existe una propuesta de la viabilidad de la energía mundial proporcionada para diferentes usos (energía eléctrica, transporte, el calor, frio, etc.), utilizando FRE como el viento, el agua y la luz del sol (Wind, Water, Sun), para satisfacer la demanda de la energía actual y futura, a partir del estudios de tecnologías y dispositivos que deben instalarse. [4]. Esta propuesta expone la disponibilidad de las FRE y su uso integrado para dar soluciones universales.

La acción individual de algunos países y regiones, se encamina a la diversificación de la matriz energética, fundamentalmente de países desarrollados europeos que no cuentan con reservas de combustibles fósiles. Algunas naciones en vías de desarrollo, han optado por acogerse a esta hoja de ruta, entre los que se encuentran las ubicadas en la región latinoamericana.

En el trabajo se exponen algunas experiencias referidas a países que han tenido estrecha relación en el uso de los SIG para el inventario y explotación de las FRE. Uno de los ejemplos más representativos es el caso de Colombia con el MODERGIS, Plataforma Integrada de Modelación para la planificación Energética Sostenible “Estudio de caso”, presentado en la reunión de la OLADE (Octubre 2012), con el lema “Nos une la energía” [5].

Se pueden citar otras experiencias como las de Venezuela y México, que siendo países con grandes reservas de combustibles fósiles, apuestan por el desarrollo las tecnologías renovables. En el caso de Venezuela, país que hoy cuenta con una de las mayores reservas de petróleo del mundo, se encuentra introduciendo tecnologías fotovoltaicas y eólicas para la

electrificación rural [6]. Ambos países utilizan la aplicación de SIG para determinar distancias, potencial solar y eólico, además de la ubicación de las poblaciones necesitadas.

Se podrían mostrar ejemplos de Argentina, donde se ha utilizado el SIG para la electrificación de comunidades aisladas en Chubut [7], Perú con el PNER GIS [8], México con la aplicación SIGER [9], Chile con el CNE [10], Ecuador con la aplicación Ecuador Solar [11], Costa Rica [12], en Brasil se ha desarrollado el modelo institucional del sector eléctrico [13]. En otros países como Honduras se han trazado sus estrategias para la penetración de la energía renovable utilizando el SIG [14], Nicaragua que realiza la gestión hídrica [15], Panamá desarrolló una metodología para el cálculo de costos de los proyectos de electrificación rural [16], en Bolivia se elaboró el atlas de radiación solar por el CINER (Centro de Información en Energías Renovables) [17]. Estos países gestionan los procesos de introducción de las tecnologías renovables a partir del uso del SIG, poniéndose de manifiesto que las condiciones están creadas, en cuanto a conocimiento y experiencia de la aplicación de esta tecnología, pudiendo ampliarse a otros países de la región que presentan necesidades energéticas y características similares (idioma, cultura, entre otros aspectos).

Hace más de 15 años que Cuba viene acumulando experiencias en esta temática: realizando el inventario de las instalaciones, llevando a cabo estudios de los potenciales de las FRE que pueden explotarse, determinando las áreas viables para la instalación de tecnologías renovables, realizando estudios y evaluación vinculados con la eficiencia de la red eléctrica, definiendo las áreas de influencia de la generación convencional, determinando las pérdidas por transmisión y distribución de electricidad, realizando estudios de la demanda, evaluación de riesgos de impactos ambientales de la generación eléctrica convencional y estudios de reducción de desastres naturales a la infraestructura eléctrica de los territorio [18].

El objetivo central del presente trabajo es exponer las posibilidades que tienen las herramientas de los SIG en los estudios integrales para el aprovechamiento de las FRE, así como en mostrar la situación que presentan algunos países del área iberoamericana, en la utilización de esta herramienta, demostrando que las condiciones están creadas para articular proyectos de integración regional, en función de extender y regularizar el uso de esta tecnología en el región.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizan parte de los análisis realizados con los SIG, de forma cooperada por algunos países de Iberoamérica, partiendo de la implementación del IntiGIS en el municipio de Guamá de la Provincia de Santiago de Cuba y su implementación en zonas de Guatemala y México.

Se muestran los resultados obtenidos en Cuba en Cartografía en 1:100000 en la implementación de los SIG, para planeamiento eléctrico utilizando las FRE, los estudios de potenciales, los análisis económicos, disminución de las emisiones contaminantes a partir de los estudios integrados, que pueden extenderse a otras zonas de América Latina, señalando además los aportes realizados en Colombia con el uso multicriterio de los SIG y la implantación de los sistemas híbridos instalados en Venezuela, utilizando la herramienta para el análisis de potencial y de apoyo a los entes decisores en la selección de sistemas con menores impactos económicos y sociales.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los primeros resultados obtenidos en Cuba en la utilización de los SIG, se encuentran referidos en distintos artículos científicos [19], experiencias que fueron extendidas a diferentes partes del territorio nacional, realizando el planeamiento con fuentes renovables a nivel del territorio de una provincia. Como se muestra en la figura 1, la propuesta preliminar del planeamiento para las comunidades que se encontraban sin electrificar, se optó por la solución de sistemas fotovoltaicos autónomos (FVA) y, donde se justificaba económicamente, la extensión de la red. Como se observa en el mapa la solución FVA se aplica fundamentalmente en zonas montañosas y aisladas, donde resulta muy costoso extender el servicio de la red.

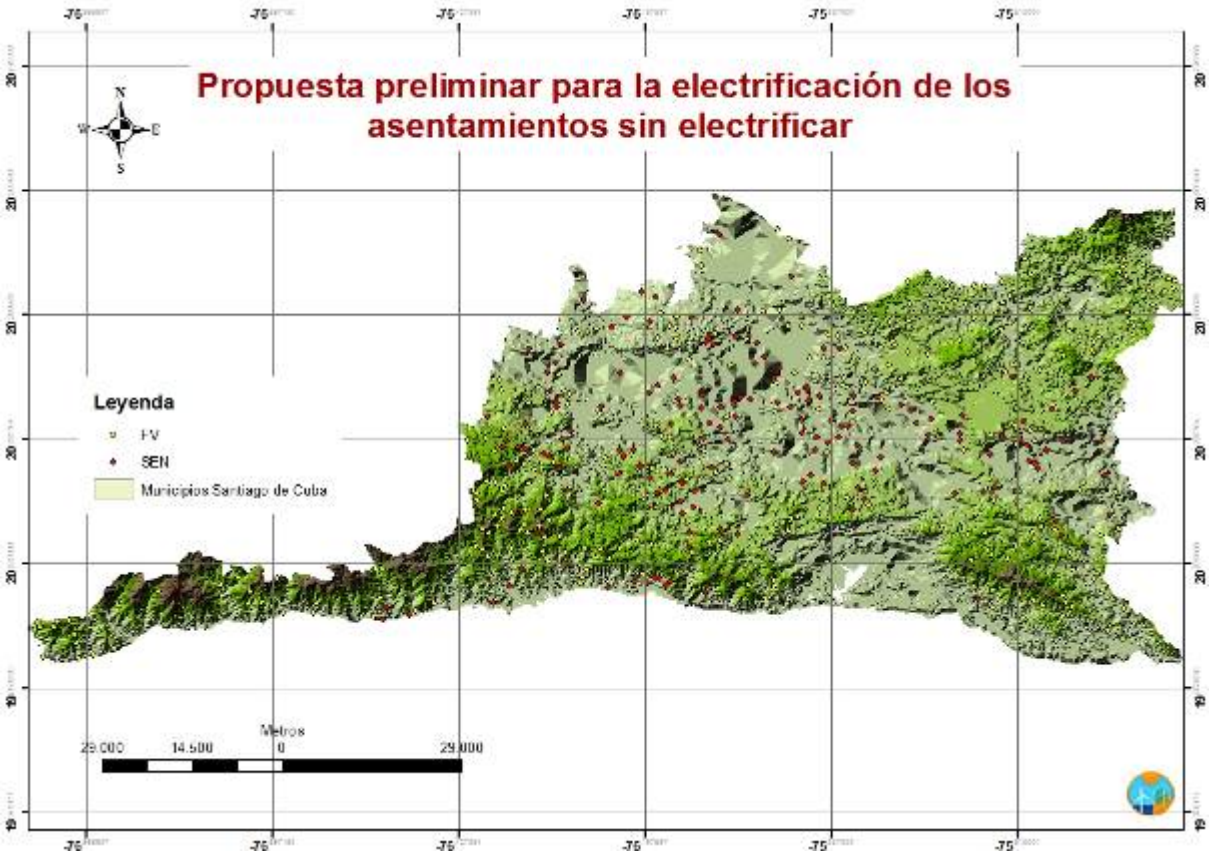


Figura 1. Propuesta para el planeamiento con FRE en comunidades aisladas.

Fuente: Elaborado por SIGFRE

Este resultado fue implementado en cinco provincias, para realizar inventarios de asentamientos sin electrificar y prever como alternativa el uso local de las fuentes renovables de energía [20].

La experiencia obtenida permitió trazar estrategias con la utilización de los SIG en el planeamiento energético. Luego, en colaboración con el CIEMAT, se implementó IntiGIS 1.0. Esta herramienta es un SIG para la electrificación rural con energías renovables en

Latinoamérica [21]. A partir del cálculo de la demanda y el cálculo del LEC[1], se evalúa la competitividad de algunas tecnologías para la electrificación rural, este sistema permite adaptarse a las condiciones geográficas del lugar. Al terminar los análisis se generaron los informes de los resultados obtenidos, agrupados en función de la tecnología a emplear.

Los resultados logrados en el municipio de Guamá, se muestran en la figura 2, donde aparecen dos coloraciones en los puntos de las comunidades: los rojos indican valores del LEC adecuados para la implantación de sistemas FVA; y los de color verde corresponden a LEC acorde con la extensión de la red.

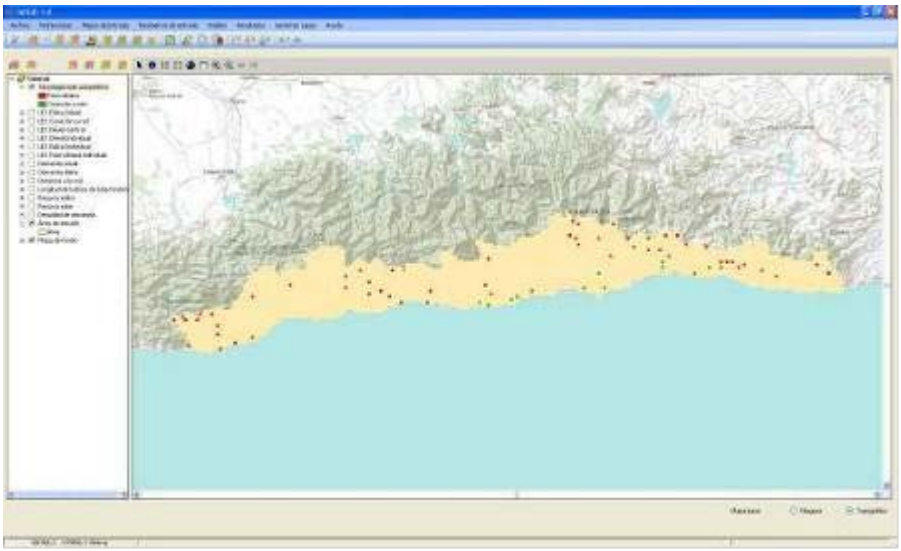


Figura 2. Resultados obtenidos en el análisis del LEC en el IntiGIS.

Fuente: Proyecto IntiGIS (CIEMAT).

Este resultado se puedo introducir en estudios similares de comunidades en Guatemala y México, corroborando la versatilidad del sistema para regiones con características geográficas y sociales diferentes.

Otro de los resultados obtenidos en Cuba ha sido, el estudio de los potenciales (solar, eólico, hidráulico y de biomasa), mostrado en la figura 3. Estos constituyen las fuentes de estudios a diferentes niveles del país, con el objetivo de ir incorporando tecnologías renovables en el esquema de la generación distribuida, en sistemas conectados a red y otros próximos a la carga. Actualmente se trabaja con el SIG y se ha desarrollado la GeoWeb: Sistema de Información Geográfica de Fuentes Renovables de Energía (SIGFRE) mostrado en la figura 4, que constituye un sistema informativo que agrupa diferentes resultados, para diferentes análisis como: conexión de los sistemas renovables a la red eléctrica; estudios de sensibilidad espacial; análisis de la influencia de la nubosidad en el rendimiento energético de los sistemas fotovoltaicos; estimación de riesgos de descargas eléctricas y su influencia en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red; estudios de reducción de emisiones contaminantes (al suelo, aire y agua); evaluación de riesgos de desastres naturales a la infraestructura eléctrica del territorio; obtención de datos para los estudios de prefactibilidad económica;

[11] Coste de electrificación equivalente.

evaluación de pérdidas de energía por transmisión y distribución; y evaluación de la eficiencia técnica de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Todos estos estudios han estado encaminados al apoyo del proceso de toma de decisiones, por las personas facultadas y dirigidos a lograr el paradigma de la sostenibilidad energética.

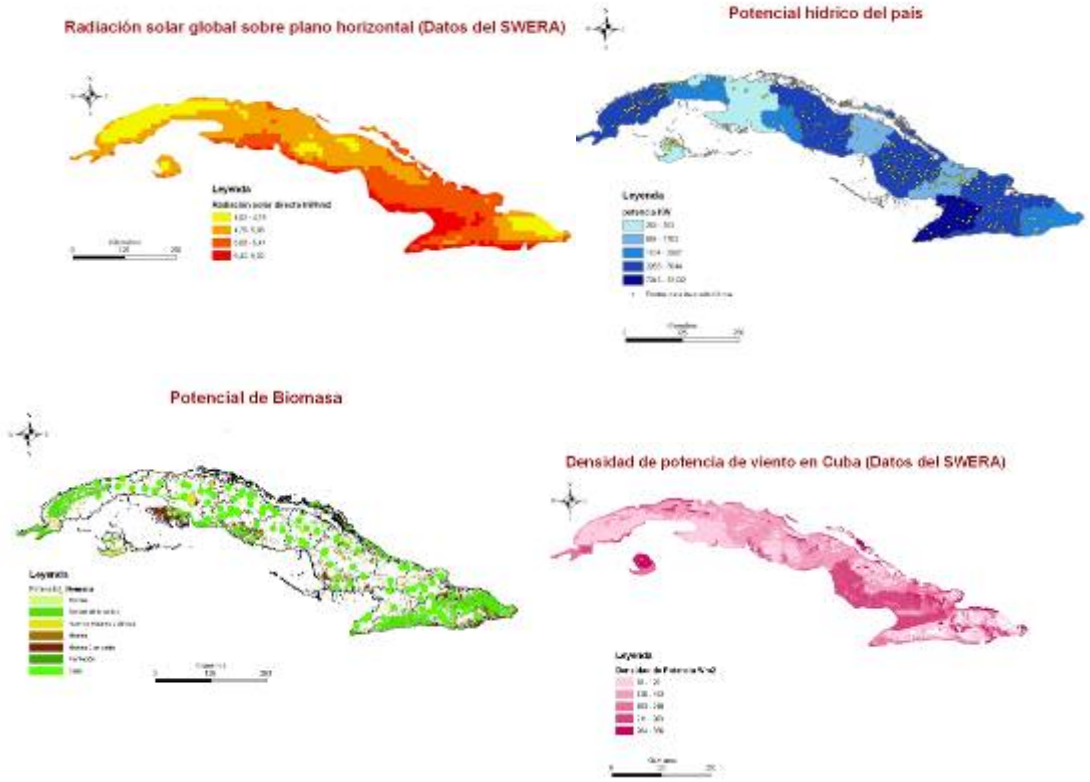


Figura 3. Potenciales renovables estudiados.

Fuente: Fuente: Elaborado por SIGFRE

La GeoWeb del SIGFRE, se convierte en una preeminente herramienta dirigida a la solución integrada de diversos y complejos problemas técnicos, que permite el aporte de conocimientos científicos por parte de expertos del tema energético.

En la figura 4 se observa el potencial solar que incide en el territorio nacional de Cuba y al marcar cualquier parte del mapa, el sistema brinda una tabla con información de los promedios mensuales y anuales, esta información puede ser obtenida para cualquiera de los potenciales estudiados, permitiendo el conocimiento de la disponibilidad de potencial renovable en cualquier punto del territorio nacional, facilitando el análisis para el aprovechamiento integrado de todas las fuentes renovables, en función de desarrollar estrategias encaminadas al desarrollo local y comunitario con una visión energética sostenible, además de poder comparar en cada sitio, cual es el potencial adecuado para la inversión.

Figura 4. Potencial solar.

Fuente: Elaborado por SIGFRE

En Colombia también se gestionan las FRE con los SIG y se han desarrollado diferentes estudios de especial interés para el conocimiento de los potenciales renovables. ModerGIS fue desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia y contó con el apoyo del CIEMAT, como proyecto de investigación en el marco del convenio de cooperación entre las partes. El objetivo del sistema es determinar la potencialidad de los recursos energéticos renovables, simulando escenarios energéticos que involucra criterios de desarrollo sostenible, brinda seguridad en el suministro y ofrece elementos de juicio en la toma de decisiones sobre la participación de fuentes renovables en la matriz energética, mediante una plataforma de planificación integrada de todas las FRE [5].

La concepción de MODERGIS se convierte en un Instrumento de gran ayuda a la planificación, al integrar en el SIG el modelo de prospección de oferta y demanda de energía, herramientas de análisis multicriterio y multiobjetivo, buscando un mismo objetivo común. Es una aplicación que puede ser utilizada para realizar simulaciones agregadas de todas las fuentes energéticas en el orden nacional (caso Colombia) o puede usarse para una sola fuente de energía (biocombustibles) y de orden regional (caso Costa Rica). Su forma novedosa radica en cuantificar potenciales renovables de energía, como solar, eólica y biomasa de manera integral, representando una optimización en el uso de la información cartográfica y los recursos computacionales.

Las simulaciones de escenarios pueden emerger de la concepción netamente energética o de la mezcla con problemáticas ambientales y naturales, resultando una fortaleza de MODERGIS, como son los casos de fenómenos de sequía o abundancia hidráulica, disminución en radiación solar o viento y las consecuencias energéticas que se pudieran generar de estos fenómenos [22]. En la figura 5, se observa la estructura general del MODERGIS, como se observa integra tres sistemas (ENERGIS, ENERDEN y ENERSOS), esta combinación de la información cartográfica, energética y algunos parámetros

indicadores de sostenibilidad, llevan a obtener como resultado final, la evaluación y clasificación sostenible de las fuentes renovables de energía [23].

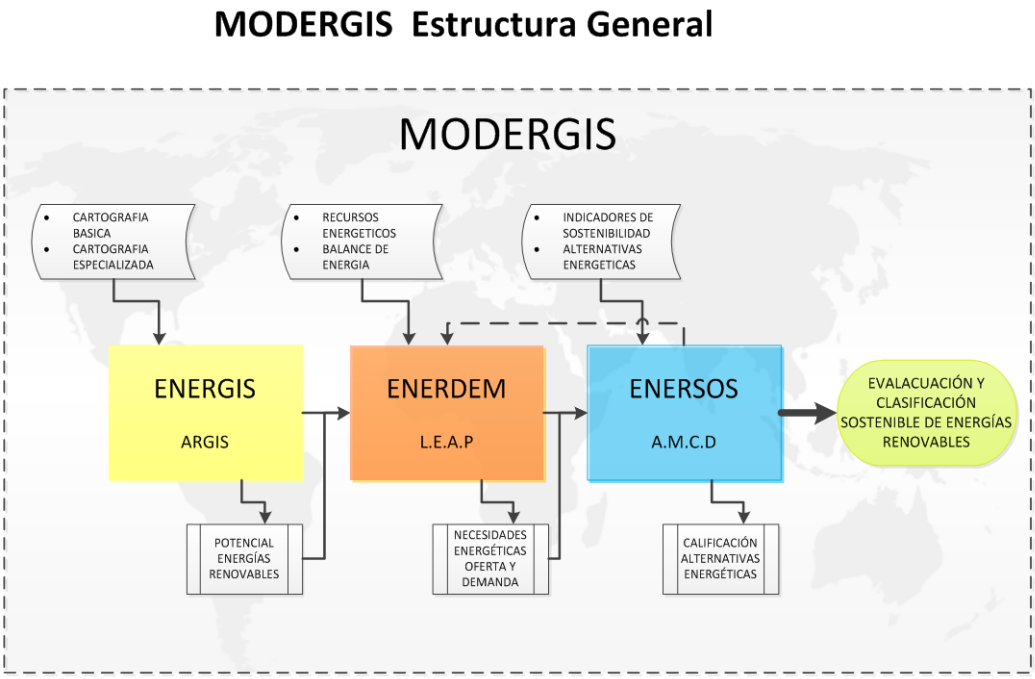


Figura 5. Estructura general del MODERGIS.
Fuente: MODERGIS 2012.

Uno de los resultados de MODERGIS se presenta en la siguiente figura 6 sobre el potencial de la energía eólica en Colombia, con un valor de 26500 MW de potencia instalable, solamente en el territorio continental sin incluir valores en costa fuera, para potencias de 1200 MW y diámetro de rotor de 60 m. Se ha clasificado por rango de viento en 5 y 7 m/s en 17000 megavatios y de 6m/s a 7 m/s en 8900 megavatios y mayor de 7 m/s en 570 megavatios. Su gran potencial se encuentra en el departamento de la Guajira, Magdalena, Atlántico, Cesar, Norte de Santander y la desembocadura de rio Atrato en el golfo de Urabá [24].

Con el fin de dar difusión al modelo y poder colocar los resultados e información relacionada con el modelo se encuentra en una página WEB propia de MODERGIS, http://www2.unalmed.edu.co/~modergis/ en el dominio de la universidad, donde se colocara toda la información concerniente al modelo y una vez surtan los permisos y licencias de uso por parte de la Universidad, quedará montado el modelo para uso público, resaltando los créditos y demás lineamientos que deberán hacerse a los autores del modelo y a las entidades desarrolladoras y colaboradoras en este trabajo [27].

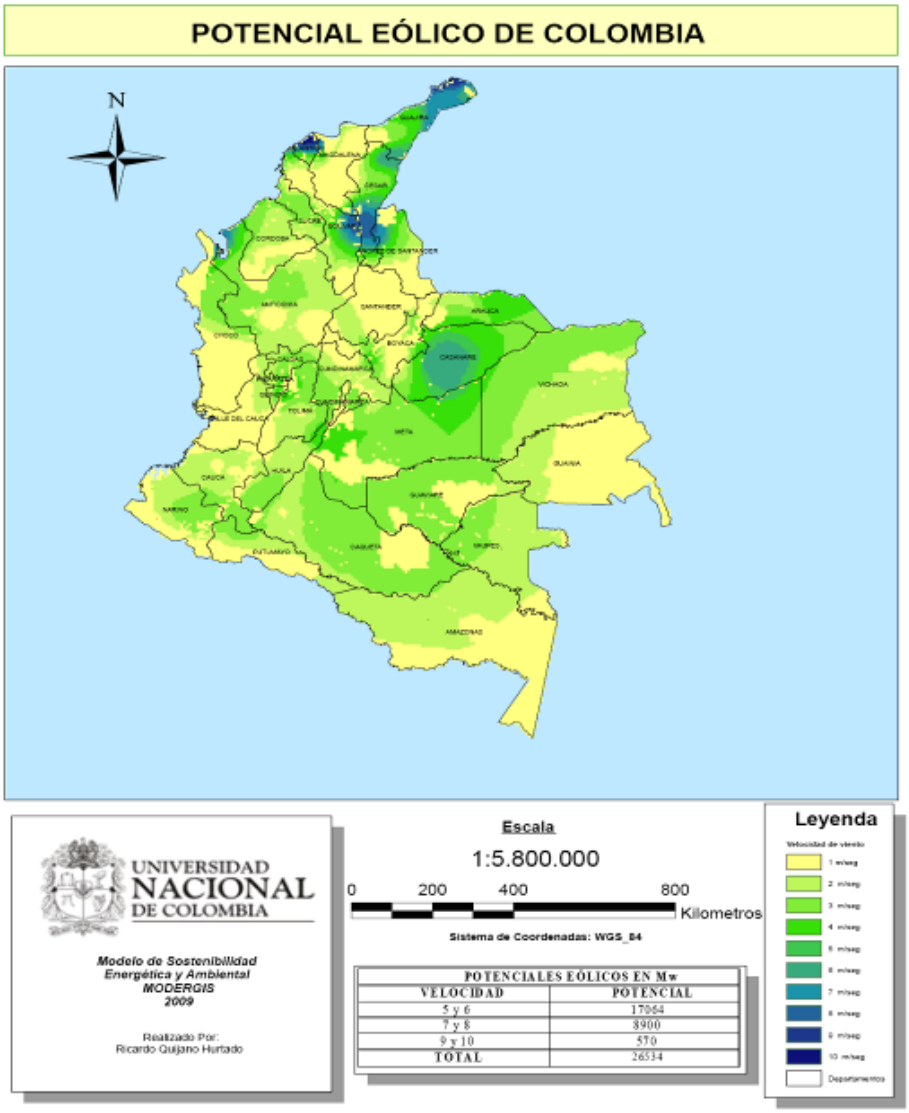


Figura 6. Potencial Eólico de Colombia.

Fuente: MODERGIS 2012

En Venezuela, a partir del uso del SIG, se estimó el comportamiento de diversas variables características de los sistemas energéticos, para la comparación integral de las tecnologías y sus necesidades de uso en la valoración de soluciones energéticas de cada comunidad o conjunto de ellas.

Dado el interés mostrado por la Empresa Eléctrica Estatal (CORPOELEC), con respecto a estudiar las posibilidades para la electrificación de la región Guajira y con el objetivo de evaluar un conjunto de comunidades cercanas a San José de la Sierra, se procedió, mediante la aplicación de un SIG, a identificar las características de irradiación solar, viento y estimación de consumo de estas comunidades, empleando informaciones disponibles en ese formato. En la figura 7 se muestra el mapa de distribución de la red y las comunidades sin servicio eléctrico, estas se encuentran representadas con unas circunferencias rosadas [25].

La posibilidad de electrificación rural mediante la extensión de las líneas eléctricas resulta inviable, para regiones muy alejadas de la red, por lo que se han implementado diferentes tipos de soluciones tecnológicas para satisfacer esta necesidad (y aún sigue investigándose); entre las tecnologías que se emplean actualmente, se encuentran las de uso exclusivo de generadores diésel, las que presentan determinado impacto ecológico, económico y de manejo técnico y social.

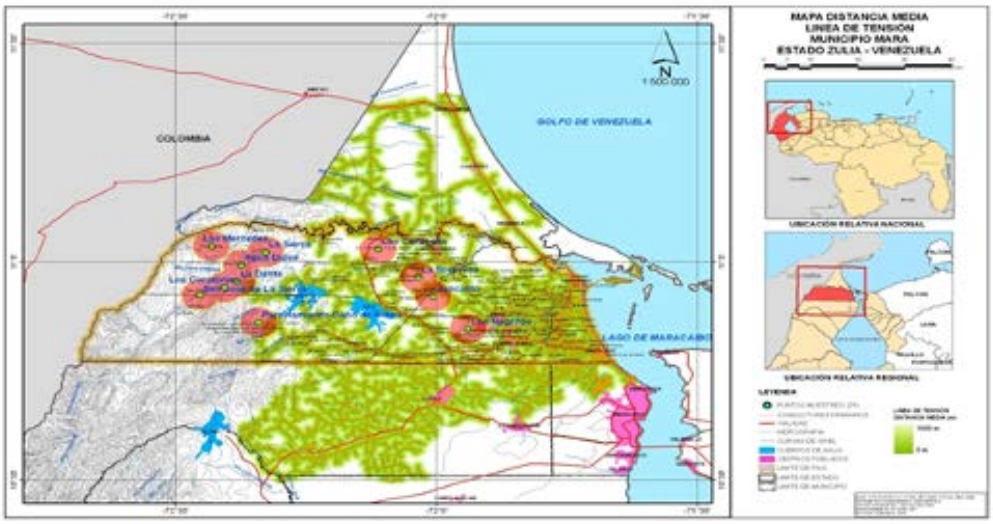


Figura 7. Comunidades seleccionadas para el estudio en Venezuela.

Fuente: Cita incluida en [6]

Con el uso de los SIG se generaron los datos para determinar la viabilidad económica, técnica y ambiental de los proyectos, además de permitir estimar el comportamiento de la irradiación solar, velocidad de viento y consumo de energía, logrando una valoración integral en las comunidades seleccionadas, lo que permitió determinar el empleo de diferentes sistemas híbridos como la variable tecnológica más adecuada. El SIG facilitó un análisis más ágil y eficiente, en el proceso de valoración de todas las comunidades sin electrificación en las zonas de la geografía venezolana.

Desde los primeros momentos, el uso del SIG en la integración iberoamericana para la gestión del esquema energético, se desarrolló de forma espontánea, vinculándose un grupo de especialistas de diferentes países del área, con ideas comunes y dispuestos a emprender la búsqueda de alternativas novedosas, en función de dar solución a los complejos problemas que se plantean en interés de la diversificación sostenible de la matriz energética, con el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

A partir del año 2007 y bajo el liderazgo del CIEMAT de España, se comenzó a desarrollar en una primera etapa, la puesta en práctica del IntiGIS en regiones geográficas diferentes de América Latina. Esta institución mantiene una línea de investigación para la aplicación de los SIG en la integración regional de energías renovables, dentro de la cual, se ha desarrollado un fecundo proceso de rediseño y aplicación de la metodología SOLARGIS.

Los proyectos desarrollados por el CIEMAT así como, diferentes universidades de los países iberoamericanos y entes públicos han demostrado que la integración regional, es

poderosamente apoyada con el uso del SIG, por lo que estos trabajos se han convertido en un referente del trabajo científico en función de la innovación tecnológica, para otras instituciones y personas interesadas en vincularse a la temática. En esta línea, los contactos han sido muy importantes y han derivado en proyectos formativos y de transferencia de conocimientos, así como en el desarrollo de proyectos nacionales [26].

En la actualidad el equipo continúa trabajando en el Proyecto INTIGIS, con el objetivo de dotar a estas herramientas de un carácter mucho más flexible y dinámico, de forma tal que su aplicación se pueda universalizar, aprovechando las enormes ventajas que en la actualidad ofrecen las Tecnologías de la Información Geográfica.

En la figura 8 se observa la página web de IntiGIS, la descarga de este software no comercial implica la aceptación expresa de las condiciones de uso contenidas en esta página, así como el respeto de los derechos de propiedad intelectual del CIEMAT.

Figura 8. Página web de IntiGIS

Fuente: CIEMAT.

Considerando las experiencias de los esfuerzos realizados por la integración latinoamericana en materia de aplicación de estas herramientas t otras como el MODERGIS, se han presentado proyectos al programa CYTED para materializar una red iberoamericana, para la aplicación de los SIG en función de desarrollar las fuentes renovables de energía; pero

hasta el momento no se ha obtenido el beneficio de aprobación. La argumentación ha estado centrada en la promoción de la cooperación y transferencia de conocimientos entre sus miembros, para el desenvolvimiento de iniciativas encaminadas al uso de estas herramientas para el desarrollo de las FRE en el área.

La aprobación y concertación de un proyecto de integración latinoamericana, dirigido a desarrollar los SIG en función del estudio y la penetración de las fuentes renovables, puede constituir un hito en la innovación tecnológica de los modelos y herramientas que poseen estos sistemas, posibilitando la generalización de las mejores experiencias obtenidas en cada país, con relativos bajos costos económicos y gastos de recursos, contribuyendo de una forma efectiva a mejorar la calidad de la planificación energética regional, mediante un mejor conocimiento y evaluación de los potenciales energéticos y el estudio compartido de los conflictos técnicos que suelen surgir durante la penetración de estas fuentes energéticas.

En el planteamiento analizado anteriormente, será fundamental la aplicación de las Tecnologías de la Información Geográfica en una triple vertiente: la utilización de sensores remotos para la evaluación de recursos energéticos; el desarrollo de modelos de análisis espaciales basados en SIG, que permitan cruzar múltiples variables para la toma de decisiones de manera eficaz; y el desarrollo de GEOPORTALES que den acceso a la información geográfica de los recursos y faciliten la planificación.

En el trabajo sólo se ha hecho referencia a algunos ejemplos para el desarrollo e integración. Existiendo suficientes experiencias en Iberoamérica y en otras regiones, que permitirían globalizar la temática en post del desarrollo energético sostenible. Lograr materializar la integración iberoamericana sería un gran reto, porque nos une el pensamiento energético y la sostenibilidad.

La caracterización espacial de las fuentes renovable de energía, muestra la enorme variabilidad espacio-temporal de estos recursos, frente al diseño concentrado de los combustibles fósiles. La desconcentración existencial de las FRE como propiedad natural, le otorga una especial preeminencia para su aprovechamiento frente a las fuentes tradicionales. Su distribución implica que prácticamente en cualquier lugar de la tierra, se pueda contar con al menos una fuente de carácter autóctono. Esta característica propia de las renovables que puede lucir como una ventaja, implica un considerable nivel de complejidad para su estudio, en función de lograr su óptimo aprovechamiento.

La heterogeneidad espacial de las fuentes renovables, hace que se adecuen especialmente en términos de producción de electricidad, tanto a la resolución de problemas de electrificación rural, como a la generación distribuida de electricidad en sistemas conectados a la red.

Los argumentos señalados anteriormente y otros que pueden ser explicitados convenientemente en una versión más amplia del trabajo, evidencian que la utilización de los SIG es adecuada, para el estudio de las fuentes renovables de energía y su aprovechamiento, dada la gran variabilidad y complejidad del sistema oferta-demanda basado en estos recursos, lo cual viene avalado por la enorme literatura con la que se puede contar al respecto [27].

CONCLUSIONES

1. Se muestran las experiencias desarrolladas por un grupo de especialistas de diferentes países de la región latinoamericana, en función de utilizar los SIG para el planeamiento energético a diferentes escalas y regiones, mostrando sus ventajas para la aplicación e integralidad del territorio.
2. Se exponen los resultados concretos obtenidos por Cuba, el CIEMAT de España, el MODERGIS en Colombia y Venezuela, en función de lograr la integración iberoamericana, para la utilización de los SIG en estudio, desarrollo de proyectos y otras etapas requeridas para el aprovechamiento las fuentes renovables de energía.
3. Queda evidenciado que la integración Iberoamericana, puede facilitar mediante la implementación de los SIG el desarrollo de estrategias para lograr un mundo sostenible energéticamente.
4. Los estudios integrales realizados mediante SIG, permiten diseñar estrategias de desarrollo para una nueva matriz energética con un mayor empleo de las fuentes renovables donde se encuentren integrados los países en vías de desarrollo de la región Iberoamericana..

BIBLIOGRAFIA

1. Greenpeace, *100% Renewables Comparison of costs. A renewable electricity system for mainland Spain and its economic feasibilit.* 2007(www.greenpeace.es).
2. Guerra, J.A. and J.D. Bravo, *Los Sistemas de Información Geográfica en la Integración Regional de Energías Renovables.* Informes Técnicos Ciemat, nº 947. Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid (Spain). Depósito Legal: M-14226-1995, 2000. **ISSN: 1135-9420, NIPO: 238-00-002-0**: p. Editorial CIEMAT.
3. Domínguez, J., *La integración económica y territorial de las energías renovables y los sistemas de información geográfica.*, in *Departamento de Geografía Humana*2002, Universidad Complutense de Madrid (UCM): Madrid. p. 471.
4. Mark Z.Jacobson, M.D., *Providing allglobalenergywithwind,water,andsolarpower,PartI: Technologies,energyresources,quantitiesandareasofinfrastructure, and materials.* Elsevier, 2011. **Energy policy 39**: p. 1154-1169.
5. Ricardo Quijano, J.D.y.S.B., *MODERGIS Application: Integrated simulation platform to promote and develop renewable sustainable energy plans, Colombian case study, Renewable and Sustainable Energy Reviews.* . 2012. **Vol 16**(Issue 1, ISSN - 1364-0321): p. 5176-5187.
6. Ciaddy R. Rodríguez, C.y.A.S., *Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural.* Revista Ingeniería Mecánica. Vol. 14. No. 1, Enero- Abril 2011, p. 13-21,Cuba., 2011.
7. Franco, J., et al., *Electrificación eólica en poblaciones rurales aisladas del Chubut.* www.c_franco-ferrari.htm, 2007.
8. GIS, P., *Haciendo comino.* http://www.PNERGIS, 2011.
9. Ubaldo Miranda, R. Saldaña, and M.F. Morales., *El Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables (SIGER) en México* Boletín IIE, octubre-diciembre del 2003., 2003. **http://www.smsiger.iie.org.mx**.
10. Salazar, D., *Marco para el desarrollo de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en Chile.* Gobierno de Chile, 2008. **http://www.cne.cl**.
11. López, P., *Bases de la electrificación rural descentralizada en Ecuador.* www.dosbe.org, , 2008. **http://www.Ecuador/solar.html.**

12. Jácome, L.F.A., *Análisis y proyección de la demanda eléctrica de un sistema de distribución para la planificación de obras, utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG).* Congreso Latinoamericano, CLADE 2008, Mar del Plata argentina., 2008.
13. MOREIRA, A.H., *Energía Renovable en Brasil.* MS, Consultoria, 2008. **Engeharia&Marketing**.
14. Rodezno, M., *La Electrificación Social en Honduras.* Empresa Nacional de Energía Eléctrica, 2003. **www.enee.hn.**
15. Leguía, E.J., et al., *Servicios ecosistémicos e hidroelectricidad en Nicaragua1.* Recursos Naturales y Ambiente., 2007. **no. 51:41-51**.
16. USAENE, *Program de eelctrificación rural en Panamá.* Web: www.usaene.com, 2005.
17. Espinoza, W.C., *atlas de radiación solar en Bolivia.* Universidad de Calgary., 2005.
18. Rodríguez, M., *La ordenación y la planificación de las fuentes renovables de energía en la isla de cuba desde una perspectiva territorial. Estudio de caso en el municipio de guama a partir de un geoportal.* Revista CIEMAT, 2012. **ISBN 978-84-7834-689-9.**
19. Rodríguez, M., *INFOSOLAR: Sistema Gráfico Informativo de electrificación rural.* . Energía y Desarrollo E&D, 1999. **No 15**(Bolivia.Sept. 99): p. www.ciner.org.
20. María Rodríguez and E.C. Zoila Millet R, Inaudis Cisnero, Margenis Morell, *Uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta en la toma de decisiones en el programa de electrificación rural.* Revista científica de las energías renovables ISSN:1028 6004, 2005.
21. Pinedo, I., *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la Integración de las Energías Renovables en la Producción de Electricidad en las Comunidades Rurales. Caso de Estudio: Electrificación del Municipio Cubano de Guamá.* Editorial CIEMAT, 2007. **Depósito Legal: M -14226-1995**(ISSN: 1135 - 9420. NIPO: 654-07-054-0): p. 87.
22. Quijano, R., *Diseño e Implementación de una Plataforma Integrada de Modelación para la Planificación Energética Sostenible – ModerGIS – Estudio de caso Colombia.* Informes técnicos CIEMAT. Madrid España. D.L:M26385-2011, ISSN: 1135-9420, NIPO: 721-12-051-X, 2012.
23. Quijano, R., Domínguez, J. y Botero, S, *Aplicaciones del modelo ModerGIS en el uso sostenible de la dendroenergía y los biocombustibles para países en vía de desarrollo – caso Colombia. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.053-1.073. ISBN: 978- 84-472-1294-*. 2010.
24. Quijano, R., Domínguez, J. y Botero, S, *Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, aplicación del Modelo ModerGIS para la potencialización de Biocombustibles sostenibles en Costa Rica y Paraguay. San José de Costa Rica, Diciembre 2011*. 2011.
25. Rodríguez, C., *Valoración integral de sistemas híbridos para la electrificación rural.* Instituto Superior Politecnico"José antonio Echeverría" Facultad de Ingeniería Mecánica. Tesis Doctoral . Cuba, 2011.
26. Domínguez Bravo, J.P.P., Irene y Augusto González, Jorge, *herramientas sig para la integración de recursos de energías renovables en electrificación rural. INTI-GIS.* ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria., 2008(ISBN: 978-84-96971-53-0.): p. 552-563.
27. Javier Dominguez, y.J.A., *Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources. Computers & Industrial Engineering.* . A Cluster on Planning and Management of Energy and Infra-structure Engineering Projects, 52 (3). 2007: p. 322-326.