**Universidad del Cauca**

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**

**Programas de Maestría y Doctorado en Ingeniería Telemática**

**Seminario de Investigación**

**Detección Automática de Condiciones Agroclimáticas para Siembra de Cultivos en Zonas Tropicales y Subtropicales aplicando un Enfoque Híbrido de Optimización por Nubes de Partículas**

**Iván Darío López Gómez**

Estudiante de Doctorado

08 de abril de 2016

1. **Introducción**

El concepto de Variabilidad Climática ha cobrado una gran importancia a través de los años prácticamente en todos los sectores de la sociedad; la literatura en torno a este tema propone un gran número de definiciones formuladas a partir de diferentes puntos de vista. Una de las definiciones más adoptadas por la comunidad científica a nivel mundial, establece que la variabilidad climática es la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional [1], [2]. Dichos cambios están sujetos a diversas escalas de tiempo y actúan sobre todos los parámetros o variables meteorológicas: temperatura, presión atmosférica, precipitación, entre otras. Por otro lado la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [3] usa este término para referirse solo al cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana[[1]](#footnote-1), el cual altera la composición de la atmósfera mundial causando la variabilidad natural del clima durante períodos comparables.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mundialmente conocida como FAO[[2]](#footnote-2) [4], la adaptación de los sistemas alimentarios a la variabilidad climática se convierte en un factor fundamental para fomentar la seguridad alimentaria, la mitigación de la pobreza y la gestión sostenible y conservación de los recursos naturales. En contraste con lo anterior, el impacto que produce una variación del clima es mayor en los países ubicados en las regiones tropicales y subtropicales, donde se encuentran las mayores situaciones problemáticas de pobreza y hambre; de esta manera la agricultura es uno de los sectores socioeconómicos que se ven mayormente afectados en este proceso [5].

1. **Planteamiento del Problema**

Dada la variedad de suelos y pisos térmicos que presenta Colombia, la más mínima variación del clima produce una alta vulnerabilidad alrededor de la producción en los cultivos, de los cuales depende el sustento de una gran parte de la población. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el país se ha visto afectado gravemente debido a la ocurrencia de eventos climáticos extremos especialmente durante las fases del Fenómeno El Niño y La Niña. Dentro de la agenda colombiana de adaptación al cambio climático se evaluó el riesgo agroclimático por sectores, el objetivo fue determinar los efectos de la variabilidad climática en la producción y rendimientos de cultivos agrícolas seleccionados, mediante la utilización de modelos agroclimáticos. Los resultados de este estudio mostraron que en términos generales, los rendimientos de muchos cultivos, están expuestos a disminuir significativamente debido a las altas temperaturas, como consecuencia del estrés térmico e hídrico, del acortamiento de la estación de crecimiento y de la mayor presencia de plagas y enfermedades.

Teniendo en cuenta el contexto que motiva la presente propuesta de doctorado, cabe destacar que los avances y el desarrollo de la tecnología han establecido hitos relevantes para enfrentar la problemática anteriormente expuesta; y es precisamente desde el campo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) que se han propuesto estrategias para guiar la toma de decisiones en torno al estudio del impacto potencial del cambio climático en la producción agrícola. Principalmente los enfoques revisados están orientados hacia modelos de simulación para varios cultivos como: arroz, algodón, maíz, trigo, entre otros, cuyo objetivo es estudiar los cambios en el rendimiento del cultivo, las necesidades de riego, y otras respuestas a la variabilidad climática global; además de esto se han propuesto sistemas de soporte a la toma de decisiones y sistemas para el análisis de riesgos de temporada con el fin de estudiar el impacto potencial del cambio climático en la producción agrícola [6]. En el mismo sentido, la FAO ha propuesto una amplia gama de sistemas de datos como: una metodología de optimización de la adaptación dinámica de las explotaciones agrícolas (FADO); sistemas de alerta a mediano plazo para la seguridad alimentaria; un instrumento de previsión climática local (New LocClim); una herramienta para pronosticar el rendimiento de los cultivos (CMBox); entre otros.

A pesar de los aportes que ofrecen los enfoques mencionados anteriormente, aún existen factores que hacen que estos esfuerzos tengan un éxito limitado, esto debido al alto nivel de incertidumbre que arroja el problema en cuestión y a la naturaleza dinámica de las condiciones climáticas de un territorio específico. Con base en lo anterior, una rama de la Inteligencia Artificial (IA) como lo es la Inteligencia Computacional (IC) [7] ofrece una importante alternativa al estudiar diferentes mecanismos de adaptación para permitir o facilitar un comportamiento inteligente en entornos complejos y cambiantes. Estos mecanismos incluyen los paradigmas de la IA que exhiben la capacidad de aprender o de adaptarse a nuevas situaciones, generalizar, abstraer, descubrir y asociar; algunos de dichos mecanismos son: Redes Neuronales Artificiales (RNA), Máquinas de Vector de Soporte (MVS), Algoritmos Genéticos (AG), Optimización por Nubes de Partículas (PSO por sus siglas en inglés - Particle Swarm Optimization) [8], entre otros. La presente propuesta de investigación, pretende abordar la problemática de la adaptabilidad de cultivos a la variabilidad climática en zonas tropicales y subtropicales mediante un enfoque híbrido de PSO. Desde este punto de vista, estudios como [9], [10] y [11], demuestran su efectividad respecto a otros algoritmos bío-inspirados, principalmente en tareas de detección, dado que una de sus principales características se enfoca en una gran capacidad para optimizar un problema a partir de una población de soluciones candidatas para finalmente encontrar un óptimo global. Al combinar esta ventaja con las fortalezas de otros algoritmos de IC, se aprovecha los puntos fuertes de los componentes del sistema de IC híbrido, y se eliminan en gran medida las debilidades de los componentes individuales.

Finalmente, una vez descrito el contexto y la situación problemática que pretende abordar el presente proyecto de doctorado, se formula la pregunta de investigación: ¿Cómo detectar posibles condiciones agroclimáticas apropiadas para la siembra de cultivos teniendo en cuenta la variabilidad climática en zonas tropicales y subtropicales mediante la aplicación de las TIC?

1. **Conceptos Relevantes**

En esta sección se presentan algunos conceptos relevantes que se han tenido en cuenta para la formulación y desarrollo del presente trabajo. Dentro de estos conceptos están: Adaptabilidad de Cultivos a la Variabilidad Climática, Sistemas de Soporte a la Toma de Decisiones (DSS por sus siglas en inglés – Decision Support System), Inteligencia Computacional, Optimización por Nubes de Partículas (PSO) y Agricultura Climáticamente Inteligente (CSA por sus siglas en inglés - Climate Smart Agriculture).

* 1. **Adaptabilidad de Cultivos a la Variabilidad Climática**

Ajustes en el manejo de cultivos como respuesta a estímulos climáticos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos [12].

* 1. **Sistemas de Soporte a la Toma de Decisiones (DSS)**

Sistema informático utilizado para servir de apoyo, más que automatizar, el proceso de toma de decisiones [13].

* 1. **Inteligencia Computacional (IC)**

La Inteligencia Computacional es una rama de la IA, conformada por una colección de paradigmas computacionales con inspiración biológica y lingüística al hacer uso de algoritmos bio-inspirados que emulan la forma de pensar, el modo de procesar información y la resolución de problemas de los sistemas biológicos. En estos paradigmas se incluye la teoría, el diseño, la aplicación y el desarrollo de redes neuronales, sistemas conexionistas, algoritmos evolutivos, sistemas difusos y sistemas inteligentes híbridos [7], [14].

* 1. **Optimización por Nubes de Partículas (PSO)**

Este algoritmo es una técnica de búsqueda basada en población. Permite emular el comportamiento social de las aves dentro de un grupo. La intención inicial del concepto de PSO fue simular gráficamente la coreografía curiosa e impredecible de una bandada de aves, sin embargo este concepto evolucionó en un algoritmo simple y eficiente optimización [15].

* 1. **Agricultura Climáticamente Inteligente (CSA)**

Enfoque que permite guiar acciones para reorientar los sistemas agrícolas con el fin de desarrollar y garantizar la seguridad alimentaria en un clima cambiante [16].

1. **Brechas Encontradas**

Las repercusiones de la variabilidad climática actualmente afectan a una gran mayoría de países; esto es observable en una pluviometría irregular e impredecible, un aumento de la incidencia de tormentas y sequías prolongadas. Lo anterior también favorece la aparición de plagas y enfermedades que afectan a cultivos y animales. De esta manera la acelerada variación en el clima amenaza con disminuir el progreso en la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), en especial los relacionados con el hambre, la reducción de la pobreza y la sostenibilidad ambiental.

La complejidad del problema y sus múltiples interacciones hacen que la única manera de evaluar estos cambios sea mediante el uso de modelos computacionales que permitan analizar de forma sistemática los efectos del cambio climático sobre los cultivos de productos agrícolas [17]. En este sentido los sistemas de producción de cultivos actuales tendrán que adaptarse para satisfacer las necesidades cambiantes. Esta adaptación puede ser planificada mediante la toma de decisiones a nivel gubernamental; o autónoma a nivel del agricultor por medio de cambios principalmente en las prácticas agrícolas, los cuales pueden obedecer a procesos de ensayo y error, experiencia del agricultor o a causa de la adaptación planificada [18]. Como resultado de los anteriores factores se pueden resaltar cuatro áreas que pueden ser abordadas por proyectos de investigación: a) introducción de nuevos cultivos y eliminación de cultivos previos, b) desarrollo de nuevas variedades de los cultivos, c) evolución de las prácticas de manejo de los cultivos, y d) confrontación del cambio climático mediante la entrega de información más apropiada para el agricultor [19].Los estudios encontrados se enfocan en determinar condiciones climáticas para recomendar prácticas de manejo de cultivo, enfermedades y nutrientes. Sin embargo pocos trabajos proponen el cruce de zonas y cultivos en áreas tropicales y subtropicales teniendo en cuenta la variabilidad climática, condiciones de suelo y calidad del agua.

1. **Avances**

En la presente propuesta se han obtenido avances respecto al mapeo sistemático de la literatura, lo cual ha permitido detectar las brechas que fueron mencionadas en el numeral anterior. En el mismo sentido, a continuación se presentan las temáticas más relevantes identificadas dentro de los trabajos consultados.

* 1. **Estado Actual del Conocimiento**

Varios autores han abordado la temática planteada en esta propuesta de investigación desde el enfoque de las ciencias de la computación; trabajos como [20] y [21], utilizan RNA para estimar variables climáticas en determinado clima; a su vez en [22], se identifican climas análogos que permitan establecer futuras condiciones en la zona de estudio. Por otra parte [23] y [24] se enfocan en identificar el porcentaje de agricultura urbana en determinada zona y cómo pueden influir los microclimas en estas condiciones. Finalmente el estudio referenciado en [25], utiliza modelos de simulación para establecer recomendaciones sobre adaptación de prácticas de manejo de cultivo.

Dado lo anterior, esta propuesta plantea ofrecer una herramienta que con base en las condiciones climáticas en las que tradicionalmente se cultiva un producto agrícola, además de otra información socioeconómica, pueda determinar en qué zonas es recomendable cultivar dicho producto; o si en la misma zona en la que se encuentra el agricultor es recomendable el cultivo de otro producto. Un ejemplo de lo anterior se refleja en la siembra de papaya en la meseta de Popayán, en años anteriores el cultivo de este producto no se consideraba viable por las condiciones agroclimáticas de la zona, sin embargo actualmente ya se comienzan a ver cultivos de este tipo aprovechando las nuevas condiciones que se establecen a partir de la variabilidad climática.

1. **Referencias**

[1] T. J. Crowley y G. R. North, «Abrupt climate change and extinction events in Earth history», *Science*, vol. 240, n.o 4855, pp. 996-1002, may 1988.

[2] N. Oreskes, «Beyond the ivory tower. The scientific consensus on climate change», *Science*, vol. 306, n.o 5702, p. 1686, dic. 2004.

[3] ONU, «Framework Convention on Climate Change», *Framework Convention on Climate Change*, 2014. .

[4] FAO, «Adaptación de la agricultura al cambio climático». 2002.

[5] S. Solomon, *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, 2007.

[6] J. W. Jones, G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijsman, y J. T. Ritchie, «The DSSAT cropping system model», *Eur. J. Agron.*, vol. 18, n.o 3, pp. 235-265, ene. 2003.

[7] A. P. Engelbrecht, *Computational Intelligence: An Introduction*. Wiley, 2007.

[8] A. P. Engelbrecht, *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence*. Wiley, 2005.

[9] A. Afshar, H. Kazemi, y M. Saadatpour, «Particle Swarm Optimization for Automatic Calibration of Large Scale Water Quality Model (CE-QUAL-W2): Application to Karkheh Reservoir, Iran», *Water Resour. Manag.*, vol. 25, n.o 10, pp. 2613-2632, ago. 2011.

[10] X. Zhao, W. Lin, J. Hao, X. Zuo, y J. Yuan, «Clustering and pattern search for enhancing particle swarm optimization with Euclidean spatial neighborhood search», *Neurocomputing*, vol. 171, pp. 966-981, ene. 2016.

[11] F. Zhao, Y. Liu, C. Zhang, y J. Wang, «A self-adaptive harmony PSO search algorithm and its performance analysis», *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, n.o 21, pp. 7436-7455, nov. 2015.

[12] AVA, «Agricultura, Vulnerabilidad y Adaptación: metodología para medir la vulnerabilidad del sector agrícola», *Climate and Development Knowledge Network*, 2011. [En línea]. Disponible en: http://cdkn.org/project/agricultura-vulnerabilidad-adaptacion-cuenca-alta-cauca/. [Accedido: 12-abr-2016].

[13] P. G. W. Keen, «Decision support systems : a research perspective», Cambridge, Mass. : Center for Information Systems Research, Afred P. Sloan School of Management, Working Paper, 1980.

[14] IEEE, *IEEE Connections, the Newsletter of the IEEE Computational Intelligence Society*, vol. 1. 2003.

[15] R. Poli, J. Kennedy, y T. Blackwell, «Particle swarm optimization», *Swarm Intell.*, vol. 1, n.o 1, pp. 33-57, ago. 2007.

[16] L. Palombi, R. Sessa, L. Palombi, y R. Sessa, *Climate-smart agriculture: sourcebook.* Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

[17] D. A. Stainforth, T. Aina, C. Christensen, M. Collins, N. Faull, D. J. Frame, J. A. Kettleborough, S. Knight, A. Martin, J. M. Murphy, C. Piani, D. Sexton, L. A. Smith, R. A. Spicer, A. J. Thorpe, y M. R. Allen, «Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases», *Nature*, vol. 433, n.o 7024, pp. 403-406, ene. 2005.

[18] W. E. Easterling, P. K. Aggrawal, P. Batima, K. Brander, L. Erda, S. M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber, y F. N. Tubiello, «Food, fibre and forest products», en *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, C. E. Hanson, Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, pp. 273-313.

[19] R. B. Matthews, M. Rivington, S. Muhammed, A. C. Newton, y P. D. Hallett, «Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role of crop modelling», *Glob. Food Secur.*, vol. 2, n.o 1, pp. 24-28, mar. 2013.

[20] V. Moosavi, A. Talebi, M. H. Mokhtari, S. R. F. Shamsi, y Y. Niazi, «A wavelet-artificial intelligence fusion approach (WAIFA) for blending Landsat and MODIS surface temperature», *Remote Sens. Environ.*, vol. 169, pp. 243-254, nov. 2015.

[21] R. P. Rötter, T. R. Carter, J. E. Olesen, y J. R. Porter, «Crop-climate models need an overhaul», *Nat. Clim. Change*, vol. 1, n.o 4, pp. 175-177, jul. 2011.

[22] D. B. L. Marshall B. Burke, «Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation», *Glob. Environ. Change*, vol. 19, n.o 3, pp. 317-325, 2009.

[23] M. Armar-Klemesu, «Urban agriculture and food security, nutrition and health».

[24] H. De Zeeuw, R. Van Veenhuizen, y M. Dubbeling, «The role of urban agriculture in building resilient cities in developing countries», *J. Agric. Sci.*, vol. 149, n.o Supplement S1, pp. 153–163, feb. 2011.

[25] P. B. P K Aggarwal, «Food, fibre and forest products», *Current*, pp. 273-313, 2007.

1. En algunos casos, para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión “cambio climático antropogénico”. [↑](#footnote-ref-1)
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [↑](#footnote-ref-2)