



Universidad Nacional del Sur

TESIS DE DOCTOR EN MATEMÁTICA

CONTRIBUCIONES AL ANÁLISIS  
ESTADÍSTICO DE IMÁGENES

Jorge Alberto Martinez

---

Bahía Blanca - Argentina

2020



# Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Matemática, de la Universidad Nacional del Sur. La misma no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones realizadas en el ámbito del Departamento de Matemática, bajo la dirección de la Dra. Ana Georgina Flesia, Profesora Asociada de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FaMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba e Investigadora Independiente CIEM-CONICET y la supervisión local de la Dra. María Cristina Maciel, Profesora Titular del Departamento de Matemática de la Universidad Nacional del Sur.

Jorge Alberto Martinez



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el día .../.../....., mereciendo la calificación de  
...(.....)



*A Silvana*



# Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi directora, la Dra. Ana Georgina Flesia por haberme dirigido en esta tesis, por su hospitalidad y paciencia, como así también por sus sugerencias y recomendaciones brindadas en cada viaje que realicé a Córdoba.

A la Dra. María Cristina Maciel, mi supervisora local, por poder integrar su grupo de investigación, por su apoyo y acompañamiento en esta tarea.

Al Dr. Oscar H. Bustos por su ayuda desinteresada, su buena predisposición y calidez para conmigo.

A Silvina, por su infinita contención y ayuda, ¡Gracias por estar siempre a mi lado!.

Finalmente, a toda mi familia y amigos quienes me alentaron en todo momento.





# Resumen

Este trabajo se compone de dos partes que se enmarcan en el área del procesamiento estadístico de imágenes. La primera, corresponde al modelado estadístico de una imagen y la segunda a la medición de la calidad de una imagen en el contexto de fusión. Cada una de las partes de este trabajo es autocontenida.

En el Capítulo 1 de la primer parte, se describe el marco teórico concerniente al modelado estocástico de una imagen de textura mediante los Campos Aleatorios de Gibbs-Markov. Además, se establecen las condiciones suficientes para obtener la descomposición de un potencial de Gibbs en configuraciones basadas en el esquema de codificación de Besag. En el Capítulo 2, se propone un nuevo método de estimación basado en el esquema de codificación de Besag, denominado estimador de Mínimo Cuadrado Condicional Coding (MCCC), implementado mediante un algoritmo paralelo. Para evaluar su performance, se llevó a cabo un estudio de simulación Monte Carlo en situaciones específicas de un modelo de textura Gibbs-Markov, el Modelo Auto-binomial. El estudio consistió en un análisis descriptivo de su comportamiento, el testeo de su sensibilidad ante presencia de ruido (distintos grados de contaminación de diferentes patrones homogéneos de textura), la evaluación de su algoritmo paralelo y su capacidad en la clasificación supervisada de diferentes texturas presentes en una imagen satelital concreta.

La segunda parte aborda la problemática de la medida de la calidad de una imagen en el contexto de fusión. En el Capítulo 4 se presentan las características de las medidas de calidad basadas en el índice de similitud estructural, como así también algunas propiedades de interés de este índice. Luego, en el Capítulo 5 se propone una nueva medida de calidad de fusión de imágenes que tiene como objetivo ser ciega (sin imagen de referencia), de cálculo significativamente simple y de fácil implementación. Para validar esta propuesta se desarrolla tres experimentos que evalúan: su propósito general, la estabilidad y capacidad discriminativa, como así también, la correlación con la opinión subjetiva. Por último, se presenta una aplicación de la medida propuesta en la obtención de imágenes de pinturas de alta calidad, a través de un proceso de exclusión que selecciona con éxito el mejor subconjunto de imágenes de entrada en términos de la imagen fusionada.

Algunos de estos resultados fueron publicados en [47, 48, 12, 58, 49, 50]. Estos son:

- J. Martinez, S. Pistonesi y A.G. Flesia Inference strategies for texture parameters. In A. Pardo and J. Kittler, editors, *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications*, 460 – 467, Cham, 2015. Springer International Publishing.
- J. Martinez, S. Pistonesi, M.C. Maciel y A.G. Flesia. Image Fusion Quality Measure Based on a Multi-scale Approach. In G. Bebis et al., editors, *Advances in Visual Computing. ISVC 2016*, 836 – 845, Cham, 2016. Springer International Publishing.
- O.H Bustos, V. Rulloni, y J. Martinez. Distribuciones de Gibbs: Volumen 1. Trabajos de Matemática, Serie B 65/17, Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba, 2017.
- S. Pistonesi, J. Martinez, S.M. Ojeda y R. Vallejos. Structural Similarity Metrics for Quality Image Fusion Assessment: Algorithms. *Image Processing On Line*, 8 : 345 – 368, 2018
- J. Martinez, S. Pistonesi, M.C. Maciel y A.G. Flesia. Parameter estimation in a Gibbs-Markov field texture model based on a coding approach. *In 2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP)*, 105-09, Junio 2018.
- J. Martinez, S. Pistonesi, M.C. Maciel y A.G. Flesia. Multi-scale fidelity measure for image fusion quality assessment. *Information Fusion*, 50 : 197 – 211, 2019.

Además, se encuentra en progreso el siguiente trabajo

- J. Martinez and S. Pistonesi. *Gibbs-potential decomposition based on coding sets*.

# Abstract

This work consists of two parts, framed in the area of statistical image processing. The first corresponds to the statistical modeling of an image and the second to the measurement of the quality of an image in the fusion context.

In Chapter 1, the theoretical framework concerning the stochastic modeling of a texture image using the Gibbs-Markov Random Fields is described. Furthermore, sufficient conditions are established to obtain the decomposition of a Gibbs potential in configurations based on the Besag coding scheme.

In Chapter 2, we propose a new estimation method based on the Besag coding scheme, called the Coding Conditional Least Square estimator (CCLS), implemented by a parallel algorithm. In order to evaluate its performance, we have conducted a Monte Carlo simulation study in specific situations of a Gibbs-Markov texture model, the Auto-binomial Model. The study consisted of a descriptive analysis of its behavior, the sensitivity testing before the presence of noise (different contamination degrees in different homogeneous texture patterns), the evaluation of its parallel algorithm, and its capacity in the supervised classification of different textures on a specific satellite image.

The second part addresses the problem of measuring the quality of an image in the fusion context. Chapter 4 presents the quality measures characteristics of based on the structural similarity index, as well as some interest properties of this index. subsequently, in Chapter 5, a new image fusion quality measure is proposed. This measure aims to be blind (without a reference image) and significantly simple to calculate. It is also, easily to implemented. In order to validate this proposal, we have developed three experiments to asses the following aspects: its general purpose, stability and discriminative capacity, as well as the correlation with subjective opinion. Finally, we present an application of the proposed measure in obtaining images of high quality paintings, by means of an exclusion process (leave one out) that successfully selects the best subset of input images in terms of the fused image.

Some of these results were published in [47, 48, 12, 58, 49, 50]. These are:

- J. Martinez, S. Pistonesi and A.G. Flesia Inference strategies for texture parameters. In A.

Pardo and J. Kittler, editors, *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications*, 460 – 467, Cham, 2015. Springer International Publishing.

- J. Martinez, S. Pistonesi, M.C. Maciel and A.G. Flesia. Image Fusion Quality Measure Based on a Multi-scale Approach. In G. Bebis et al., editors, *Advances in Visual Computing. ISVC 2016*, 836 – 845, Cham, 2016. Springer International Publishing.
- O.H Bustos, V. Rulloni, and J. Martinez. Distribuciones de Gibbs: Volumen 1. Trabajos de Matemática, Serie B 65/17, Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba, 2017.
- S. Pistonesi, J. Martinez, S.M. Ojeda and R. Vallejos. Structural Similarity Metrics for Quality Image Fusion Assessment: Algorithms. *Image Processing On Line*, 8 : 345 – 368, 2018
- J. Martinez, S. Pistonesi, M.C. Maciel and A.G. Flesia. Parameter estimation in a Gibbs-Markov field texture model based on a coding approach. *In 2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP)*, 105-09, June 2018.
- J. Martinez, S. Pistonesi, M.C. Maciel and A.G. Flesia. Multi-scale fidelity measure for image fusion quality assessment. *Information Fusion*, 50 : 197 – 211, 2019.

Also, the following work is in progress

- J. Martinez and S. Pistonesi. *Gibbs-potential decomposition based on coding sets.*