



**UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS**  
**DOCTORATE IN COMPLEX SYSTEMS ENGINEERING**  
**SEGREGATION IN COMPLEX SYSTEMS**

**Vasco Cortez Montero**

**Thesis Director : Ph.D. Sergio Rica**

**Commission : Ph.D. Eugenio Vogel**

**Commission : Ph.D. Marcelo Villena**

**Program Director : Dr. Eric Goles**

Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Universidad Adolfo Ibáñez

**Doctoral Thesis to be presented to the Graduated direction  
of the University Adolfo Ibáñez**

## Abstract

Societies, earth's global changes, the human brain, ecosystems and social or economic organizations may be considered as complex systems, which present emergent properties, uncertainty dynamics, non-linearities and macro interactions; as a consequence of the interdependency of several and diverse elements. The terms "complex systems" can be used to state systems with complex characteristics, and also, the set of integrated methodologies used to address problems arisen in these types of systems. In this work, we review both, the characteristics of the complex systems and the methodologies to address them, through an interdisciplinary and top-down approach.

Mainly, we focus in the analysis of the segregation, as a natural consequence of an homophilic and spatial process. The segregation is presented as an emergent phenomenon of complex systems that may produce negative particular consequences in the heterogeneous societies. At the basis of simulations, mathematical and mechanical statistic models, we shall contribute with another point of view to understand the quantitative segregation measures and the evolutionary dynamics of this important complex problem.

In this work, we characterize quantitatively the temporal evolution of the Schelling's model, applied in spatial arrangement and networks; according to the tolerance levels of the individuals of a simulated society. Finally, we provide probabilistic arguments to explain the observed behaviors, and also, we reflect about some topics that allow addressing the segregation through an organic manner.

---

Sociedades, cambios globales, el cerebro humano, ecosistemas u organizaciones sociales y económicas pueden ser consideradas como sistemas complejos, cuales presentan propiedades emergentes, dinámicas inciertas, no linealidades e interacciones macroscópicas; como consecuencia de la interdependencia de muchos y diversos elementos. El término "sistemas complejos" puede ser empleado para describir sistemas con características complejas, o así también, al conjunto de metodologías integradas utilizadas para abordar problemas originados en estos tipos de sistemas. En este trabajo, revisaremos ambos, las características de los sistemas complejos y las metodologías para abordarlos, a través de un enfoque de arriba abajo e interdisciplinario.

Fundamentalmente nos enfocaremos en el análisis de la segregación, como consecuencia natural de procesos homofílicos y espaciales. Presentamos la segregación como un fenómeno emergente de los sistemas complejos, que puede producir consecuencias negativas en sociedades heterogéneas. En base a simulaciones, modelos matemáticos y mecánico estadísticos, contribuimos desde un punto de vista particular, para entender las medidas cuantitativas de segregación y la evolución dinámica de este importante problema complejo.

En este trabajo, caracterizamos cuantitativamente la evolución temporal del modelo de Schelling, aplicado en configuraciones espaciales y también en redes, según los niveles de tolerancias de los individuos simulados. Finalmente, proveemos argumentos probabilísticos para explicar los comportamientos observados con este modelo, y también, poder reflexionar sobre algunos temas que permiten enfrentar la segregación de manera orgánica en nuestra sociedad.

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
1.1	Understanding the Complexity . . . . .	8
1.2	Social segregation as complex problem . . . . .	9
1.3	Modeling the Segregation . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Complex Systems</b>	<b>13</b>
2.1	Early System Theories . . . . .	13
2.2	Complicated vs. Complex . . . . .	14
2.3	Characteristics of the complex systems . . . . .	16
2.3.1	Connected components . . . . .	19
2.3.2	Interdependent . . . . .	23
2.3.3	Diverse . . . . .	25
2.3.4	Dynamics . . . . .	28
2.3.5	Adaptive . . . . .	30
2.3.6	Self-Organization . . . . .	33
2.3.7	Nonlinearity . . . . .	35
2.3.8	Emergency . . . . .	39
2.4	System Thinking: “ <i>The whole is more than the sum of its parts?</i> ” . . . . .	44
2.4.1	Systems Engineering . . . . .	45
<b>3</b>	<b>Social Segregation</b>	<b>51</b>
3.1	Segregation as Complex Problem . . . . .	55
3.2	Segregation Indices . . . . .	58

3.2.1	Measuring Segregation . . . . .	60
3.2.2	Neighborhood size dependency . . . . .	64
3.2.3	Indices Analysis . . . . .	70
<b>4</b>	<b>Schelling's Social Segregation Model</b>	<b>73</b>
4.1	The Model . . . . .	74
4.2	Phase space of Schelling's model in small lattice . . . . .	77
4.3	Schelling's model dynamics . . . . .	82
4.3.1	Attractors in Moore neighborhood . . . . .	85
4.3.2	Dynamics in large neighborhoods . . . . .	93
<b>5</b>	<b>Segregation in Networks</b>	<b>99</b>
5.1	Schelling's Dynamics in Networks . . . . .	100
5.2	Application of Segregation in Networks . . . . .	105
5.2.1	School segregation . . . . .	105
5.2.2	Political polarization . . . . .	105
5.2.3	Information analysis: climate change . . . . .	106
5.2.4	Future applications . . . . .	108
<b>6</b>	<b>Discussion and Conclusions</b>	<b>111</b>
6.1	Interfaces . . . . .	113
6.2	Relationships . . . . .	115
6.3	System Thinking . . . . .	116
<b>7</b>	<b>Appendix</b>	<b>117</b>