

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	4
1.2. Hipótesis . . . . .	4
1.3. Objetivos generales . . . . .	5
1.4. Objetivos específicos . . . . .	5
<b>2. Marco teórico</b>	<b>7</b>
2.1. Astronomía . . . . .	7
2.1.1. Estudios astronómicos y big data en la astronomía . . . . .	7
2.1.2. Generación de datos astronómicos . . . . .	9
2.1.3. Catálogos astronómicos y <i>cross-match</i> . . . . .	11
2.1.4. Objetos astronómicos . . . . .	11
2.1.5. Alertas astronómicas anómalas . . . . .	14
2.2. Aprendizaje profundo . . . . .	15
2.2.1. Redes neuronales artificiales . . . . .	15
2.2.2. Redes neuronales convolucionales . . . . .	16
2.2.3. Entrenamiento de redes neuronales . . . . .	18
2.3. Detección de anomalías . . . . .	20
2.3.1. ¿Qué es una anomalía? . . . . .	20
2.3.2. Funcionamiento de modelos de detección de anomalías . . . . .	21
2.3.3. Tipos de problemas de detección de anomalías en base a etiquetas disponibles . . . . .	22
2.3.4. Trabajos relacionado en detección de anomalías . . . . .	22
2.3.4.1. Métodos clásicos de detección de anomalías . . . . .	23
2.3.4.2. Métodos de aprendizaje profundo de detección de anomalías . . . . .	23
2.3.5. Aprendizaje profundo basado en transformaciones geométricas para la detección de anomalías . . . . .	24
2.3.5.1. Arquitectura de GeoTransform . . . . .	27
2.3.5.2. Entrenamiento de GeoTransform . . . . .	28
2.3.6. Desde aprendizaje auto-supervisado hasta GeoTransform y más allá . . . . .	28
2.4. Trabajo relacionado de aprendizaje de máquinas en astronomía . . . . .	29
2.4.1. Aprendizaje de máquinas clásico para clasificación en astronomía . . . . .	29
2.4.2. Aprendizaje profundo para clasificación en astronomía . . . . .	30
2.4.3. Detección de anomalías astronómicas . . . . .	30

<b>3. Metodología</b>	<b>31</b>
3.1. Clasificación temprana de objetos astronómicos	31
3.1.1. Base de datos	32
3.1.2. Pre-procesamiento	33
3.1.3. Partición de datos	34
3.1.4. Arquitectura del clasificador	35
3.1.5. Regularización de entropía	36
3.1.6. Esquema de entrenamiento	37
3.1.7. Experimentos	38
3.1.7.1. Búsqueda de hiperparámetros	38
3.1.7.2. Desempeño y evaluación del modelo	38
3.1.7.3. Experimentos extra	39
3.1.8. Supernovae Hunter - Validación del modelo por la comunidad.	40
3.2. Detección de anomalías tipo bogus	40
3.2.1. Bases de datos astronómicas	41
3.2.2. Partición de datos	42
3.2.3. Pre-procesamiento	43
3.2.4. Modelo de detección de anomalías GeoTransform	43
3.2.5. Arquitectura y esquemas de entrenamiento de GeoTransform	44
3.2.5.1. Esquema de entrenamiento original	44
3.2.5.2. Esquema de entrenamiento con detención temprana	45
3.2.6. Evaluación de modelos de detección de anomalías	45
3.2.7. Propuesta de nuevas transformaciones para GeoTransform	46
3.2.8. Selección de transformaciones	47
3.2.8.1. Factores que motivan la selección de transformaciones y definiciones base	48
3.2.8.2. Definiciones de invarianza	49
3.2.8.3. Selección de transformaciones desde la teoría	51
3.2.8.4. Selección empírica de transformaciones	52
3.2.8.4.1. Definición del problema y de transformaciones inútiles:	52
3.2.8.4.2. Método de selección 1 - Información mutua:	53
3.2.8.4.3. Método de selección 2.1 - Invarianza a una transformación:	54
3.2.8.4.4. Método de selección 2.1.a - Matriz de discriminación:	55
3.2.8.4.5. Método de selección 3 - Desempeño sobre la tarea final:	56
3.2.8.4.6. Pipelines de selección - Mezcla de métodos:	57
3.2.9. Comparación entre diferentes detectores de anomalías	58
3.3. Detección automática de bogus para la clasificación de objetos astronómicos	58
3.3.1. Procedimiento	59
3.3.2. Evaluación	60
<b>4. Resultados y análisis</b>	<b>61</b>
4.1. Clasificación temprana de objetos astronómicos	61
4.1.1. Búsqueda aleatoria de hiperparámetros	61
4.1.2. Desempeño del modelo	63
4.1.3. Evaluación de predicciones	64

4.1.4.	Efectos de utilizar metadatos . . . . .	65
4.1.5.	Regularización de entropía . . . . .	66
4.1.6.	Supernovae Hunter . . . . .	68
4.2.	Detección de anomalías tipo bogus . . . . .	70
4.2.1.	Esquemas de entrenamiento . . . . .	70
4.2.2.	Nuevas transformaciones . . . . .	71
4.2.3.	Selección de transformaciones . . . . .	72
4.2.3.1.	Método de selección 1 - Información mutua . . . . .	74
4.2.3.2.	Método de selección 2.1.a - Matriz de discriminación . . . . .	74
4.2.3.3.	Método de selección 3 - Selección por desempeño progresivo y regresivo . . . . .	77
4.2.3.4.	Flujos de selección . . . . .	78
4.2.4.	Comparación con trabajos relacionados . . . . .	81
4.3.	Detección automática de bogus para la clasificación de objetos astronómicos	81
<b>5.</b>	<b>Discusión</b>	<b>85</b>
5.1.	Clasificación temprana de alertas astronómicas . . . . .	85
5.2.	Detección de anomalías tipo bogus . . . . .	88
5.3.	Detección automática de bogus para la clasificación de objetos astronómicos	91
5.4.	Dificultades actuales y propuestas de trabajo futuro . . . . .	92
5.4.1.	Clasificación temprana de objetos astronómicos . . . . .	92
5.4.2.	Detección de anomalías tipo bogus . . . . .	92
5.4.3.	Detección automática de bogus para la clasificación de objetos astro- nómicos . . . . .	93
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>95</b>
6.1.	Clasificación temprana de objetos astronómicos . . . . .	95
6.2.	Detección de anomalías tipo bogus . . . . .	96
6.3.	Detección automática de bogus para la clasificación de objetos astronómicos	98
6.4.	Resumen de contribuciones . . . . .	98
6.5.	Últimos comentarios . . . . .	99
	<b>Bibliografía</b>	<b>101</b>
<b>A.</b>	<b>Clasificación temprana de objetos astronómicos</b>	<b>111</b>
A.1.	Comparación con otros modelos de la literatura . . . . .	112
<b>B.</b>	<b>Detección de anomalías tipo bogus</b>	<b>115</b>
B.1.	Esquema de entrenamiento para grandes bases de datos . . . . .	115
B.2.	Método de selección de transformaciones 2.1.b - Matriz de distancia de Fréchet	117