

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Hipótesis	5
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. Estructura de la tesis	6
2. Antecedentes	7
2.1. Cuasi-periodicidad	7
2.2. Caso de estudio: Estrellas Gamma Doradus	9
2.2.1. Características físicas de la variabilidad en estrellas	10
2.2.2. Modelos para estrellas con variaciones gravitacionales	11
2.2.3. Factores que alteran la variabilidad estelar	12
2.2.4. Métodos de determinación de períodos de pulsación estelar	14
2.3. Métodos de análisis de frecuencia	16
2.3.1. Análisis espectral de Fourier	17
2.3.2. Periodograma de Lomb-Scargle	17
2.3.3. Otros métodos de análisis de frecuencia	19
2.4. Autómata celular	20
2.5. Percolación	21
2.6. Conjuntos K de Freeman	22
2.7. Neuropercolación	24
2.7.1. Ecuaciones del modelo <i>Mean Fields</i>	27
2.8. Optimización por enjambre de partículas	30
3. Metodología	31
3.1. Modelos	33
3.1.1. Modelos planos	33
3.1.2. Modelos esféricos	33
3.2. Métodos de estimación de parámetros	34
3.2.1. Optimización por enjambre de partículas	34
3.2.2. Manejo de restricciones	35
3.2.3. Creación de poblaciones iniciales	36
3.2.4. Funciones de fitness	37
3.3. Datos a utilizar	38
3.3.1. Datos sintéticos	38

3.3.2. Datos del proyecto Kepler	39
3.4. Herramientas de análisis de resultados	43
3.5. Programación	43
4. Resultados	44
4.1. Pruebas realizadas	44
4.2. Señal AM Sintética	45
4.2.1. Robustez ante datos perdidos	46
4.2.2. Robustez al ruido	49
4.3. Simulaciones de curvas de luz de estrellas Gamma Doradus	51
4.4. Curvas de luz reales de estrellas Gamma Doradus	55
4.4.1. Gamma Doradus KIC 9240041	55
4.4.2. Gamma Doradus KIC 10224094	57
4.4.3. Gamma Doradus KIC 11145123	58
5. Análisis y discusión de resultados	61
5.1. Señales Sintéticas	61
5.1.1. Señales de Amplitud Modulada	61
5.1.2. Curva de luz simulada de estrella Gamma Doradus	66
5.2. Curvas de luz reales de estrellas Gamma Doradus	69
5.2.1. Gamma Doradus KIC 9240041	69
5.2.2. Gamma Doradus KIC 10224094	71
5.2.3. Gamma Doradus KIC 11145123	72
5.3. Multiplicidad de los modelos	75
5.4. Capacidad de predicción	76
5.5. Transferencia de información e información <i>a priori</i>	77
5.6. Costo Computacional	78
6. Conclusiones	79
6.1. Trabajo Futuro	81
Bibliografía	83
7. Anexos	89
7.1. Ecuaciones de la variabilidad estelar	89
7.2. Códigos en MATLAB	90
7.2.1. Código para simulación de modelo KI	90
7.2.2. Código para simulación de modelo KII	91
7.2.3. Código para simulación de modelo KIII	92
7.3. Identificación de frecuencias en modelos de Neuropercolación	94

Índice de tablas

3.1. <i>Quarters</i> de datos del proyecto Kepler	39
4.1. MSE de los modelos de Neuropercolación para una señal AM sintética cuando se utiliza información incompleta para la estimación.	47
4.2. Períodos principales de los mejores modelos de Neuropercolación para una señal AM sintética con información incompleta.	47
4.3. MSE para modelos obtenidos con señales ruidosas.	49
4.4. Períodos principales de los modelos de Neuropercolación para una señal AM con ruido blanco.	50
4.5. Parámetros utilizados para la simulación de una curva de luz de estrella Gamma Doradus.	51
4.6. MSE de los modelos para Gamma Doradus simulada con amplitudes aleatorias.	53
4.7. MSE de los modelos para Gamma Doradus simulada con amplitudes uniformes.	54
4.8. MSE de los modelos para KIC 9240041	56
4.9. MSE de los modelos para KIC 10224094.	57
4.10. MSE de los modelos para KIC 11145123	60
5.1. Frecuencias identificadas por los mejores modelos para una curva de luz de Gamma Doradus simulada con amplitudes aleatorias.	69
5.2. Frecuencias identificadas por los mejores modelos para una curva de luz de Gamma Doradus simulada con amplitudes iguales.	69
5.3. MSE con datos de prueba en los modelos encontrados para KIC 9240041.	71
5.4. Frecuencias de los modos gravitacionales de la estrella KIC 11145123.	73

Índice de figuras

1.1. Ejemplo de un modelo de Neuropercolación.	3
2.1. Ejemplos de diferentes dinámicas observables en un espacio de fase	8
2.2. Coordenadas esféricas y nodos de variabilidad.	11
2.3. Espaciamiento de períodos para simulaciones de Gamma Doradus	14
2.4. Ejemplo de Bootstrap Percolation	21
2.5. Conjuntos K de Freeman.	25
2.6. Conjuntos K de Freeman utilizando Neuropercolación.	27
3.1. Metodología para el ajuste de un modelo de Neuropercolación.	32
3.2. Estructuras utilizadas para los modelos de Neuropercolación	33
3.3. Área de observación del telescopio espacial Kepler	40
3.4. Curvas de luz de estrellas Gamma Doradus después del pre-procesamiento.	42
4.1. Ejemplo de una señal de amplitud modulada simulada	45
4.2. Modelo y residuos al utilizar un 10% de los datos de una señal sintética AM.	46
4.3. Períodos de los mejores modelos de señal AM sintética con información incompleta.	48
4.4. Períodos de los peores modelos de señal AM sintética con información incompleta.	48
4.5. MSE de los modelos obtenidos al añadir ruido a una señal AM sintética.	50
4.6. Embedding para curva de luz simulada de Gamma Doradus.	52
4.7. Mejor modelo para Gamma Doradus simulada con amplitudes aleatorias, y sus residuos.	53
4.8. Mejor modelo para Gamma Doradus simulada con amplitudes uniformes, y sus residuos.	54
4.9. Embedding para la curva de luz de la estrella Gamma Doradus KIC 9240041.	55
4.10. Mejor modelo para KIC9240041	56
4.11. Embedding para la estrella Gamma Doradus KIC 10224094	57
4.12. Mejor modelo para KIC 10224094	58
4.13. Curva de luz de la estrella KIC 11145123, un híbrido entre Gamma Doradus y Delta Scuti.	59
4.14. Periodograma de Lomb Scargle de la curva de luz de la estrella KIC 11145123.	59
4.15. Mejor modelo para KIC 11145123 y residuos.	60
4.16. Periodograma de Lomb-Scargle de los residuos del mejor modelo para KIC 11145123.	60
5.1. Peor modelo encontrado para señal AM con el 10% de los datos.	61

5.2. Frecuencias encontradas en el mejor modelo de señal AM sin datos perdidos.	63
5.3. Histogramas de error en la modelación de señales con ruido.	64
5.4. Frecuencias encontradas en el mejor modelo de señal AM con SNR 30.	65
5.5. Modelos equivalentes para una señal AM	66
5.6. Frecuencias encontradas para curva de luz simulada con modelo de 4x4.	67
5.7. Espaciamiento de períodos para curva de luz simulada de amplitudes aleatorias con modelo de 4x4.	68
5.8. Frecuencias encontradas para curva de luz KIC 9240041.	70
5.9. Espaciamiento de períodos para KIC 9240041.	70
5.10. Frecuencias encontradas para curva de luz KIC 10224094.	72
5.11. Espaciamientos encontrados para curva de luz KIC 10224094.	72
5.12. Espectro completo de frecuencias encontradas para la curva de luz KIC 11145123.	74
5.13. Frecuencias asociadas a modos gravitacionales encontradas para la curva de luz KIC 11145123.	74
5.14. Ejemplo de multiplicidad de modelos.	75
5.15. Predicción para señal de Amplitud Modulada.	76
5.16. Predicción para curva de luz simulada de estrella Gamma Doradus.	76
7.1. Extracción de frecuencias en modelos de Neuropercolación.	94