

Estudio de las materias y su correlación para innovación e implantación de las enseñanzas de ingeniería en una escuela técnica de Galicia

Autor: José Antonio López Vázquez

Tesis doctoral UDC/2015

Directores:

Dr. José Luis Calvo Rolle

Dr. Francisco Javier de Cos Juez

Dr. José Antonio Orosa García

Programa de Ingeniería Marítima



UNIVERSIDADE DA CORUÑA




Dr. D. José Luis Calvo Rolle, profesor del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de A Coruña, Dr. D. Francisco Javier de Cos Juez, profesor del Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo y Dr. D. José Antonio Orosa García, profesor del Departamento de Energía y Propulsión Marina, de la Universidad de A Coruña.

AUTORIZAN

A la defensa de la Tesis Doctoral titulada *“Estudio de las materias y su correlación para innovación e implantación de las enseñanzas de ingeniería en una escuela técnica de Galicia”*, realizada por *D. José Antonio López Vázquez*, bajo nuestra dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de A Coruña.

En Ferrol, a 29 de mayo de 2015.



Dr. D. José Luis Calvo Rolle



Dr. D. Francisco Javier de Cos Juez



Dr. D. José Antonio Orosa García

*A mi mujer, Mercedes
y a mis hijas, Uxía y Sara.
Gracias por vuestro apoyo y cariño.*

*A mis padres y mis hermanos.
A Antonio y Amadora.*

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible esta tesis doctoral.

A mis directores de tesis José Luis Calvo Rolle, Francisco Javier de Cos Juez y José Antonio Orosa García por la oportunidad que me ofrecieron de realizar este trabajo, por sus valiosas aportaciones y acertadas directrices, y por todas las facilidades puestas a mi disposición en todo momento.

Agradecer también la valiosa colaboración de José Luís Casteleiro Roca, por sus contribuciones y acertadas valoraciones.

A Valentín Díaz Seijas, Vanesa Lourés Amor y Saray Busto Ulloa por su desinteresada colaboración.

A la Universidad de A Coruña, particularmente al Vicerrectorado de Títulos, Calidad y Nuevas Tecnologías, y a su Vicerrector Julio Abalde, por facilitarme parte de los datos que hicieron posible este trabajo.

Al Departamento de Energía y Propulsión Marina por permitir la realización de esta tesis doctoral.

En definitiva, a todos aquellos que me han apoyado en la consecución de este objetivo.

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda el problema del bajo rendimiento académico alcanzado en los estudios de Ingeniería. Se realiza el análisis estadístico descriptivo y de correlación de los resultados académicos del alumnado que ha cursado las titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial, especialidades Electricidad y Electrónica Industrial, pertenecientes a la Universidad de A Coruña, tal como figuran en su expediente académico. Mediante la aplicación de técnicas avanzadas de regresión, se desarrollan modelos de predicción del itinerario académico del estudiantado a lo largo de toda su carrera universitaria, de tal forma que, se logra predecir las calificaciones obtenidas y las convocatorias agotadas en las materias que cada alumno curse durante el primer año académico, a partir de la nota de acceso a la universidad. El resto de calificaciones y convocatorias de las materias que componen la titulación se pueden predecir en cualquier momento de la trayectoria académica del estudiante, incorporando al modelo las notas de las materias según se vayan superando. Los modelos desarrollados permiten conseguir el principal objetivo propuesto de conocer por adelantado el rendimiento académico de cada estudiante, y se pueden aplicar para la predicción del rendimiento individual del alumnado.

Resumo

O presente traballo de investigación aborda o problema do baixo rendemento académico alcanzado nos estudos de Enxeñaría. Realízase a análise estatístico descritivo e de correlación dos resultados académicos do alumnado que cursou as titulacións de Enxeñaría Técnica Industrial, especialidades Electricidade e Electrónica Industrial, pertencentes á Universidade da Coruña, tal como figuran no seu expediente académico. Mediante a aplicación de técnicas avanzadas de regresión, desenvólvense modelos de predición do itinerario académico do alumnado ao longo de toda a súa carreira universitaria, de tal forma que, se logra predicir as cualificacións obtidas e as convocatorias esgotadas nas materias que cada alumno curse durante o primeiro ano académico, a partir da nota de acceso á universidade. O resto de cualificacións e convocatorias das materias que compoñen a titulación pódense predicir en calquera momento da traxectoria académica do estudante, incorporando ao modelo as notas das materias segundo se vaian superando. Os modelos desenvolvidos permiten conseguir o principal obxectivo proposto de coñecer por adiantado o rendemento académico de cada estudante, e pódense aplicar para a predición do rendemento individual do alumnado.

Abstract

In this work, we deal with the problem of poor academic performance among students of Engineering Degrees. We carry out the statistical descriptive and correlation analysis of the academic achievements of the undergraduates of the Electrical and Industrial Electronics specialities in the Technical Industrial Engineering from the University of A Coruña. Applying advanced regression techniques, prediction models for the academic performance of the students are developed. Therefore, the marks and the number of failed exams throughout the first year of the degree are obtained from the corresponding of secondary education. The marks and the number of left exams needed in order to pass the remaining courses can be predicted at any time during the degree. In order to do that, the marks already achieved are included into the model. Eventually, the main goal of this work is accomplished; the performance of each student can be anticipated. Moreover, the developed models can be applied for the prediction of the individual academic achievements of each student.

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1 ANTECEDENTES	3
2 MOTIVACIÓN	7
3 OBJETIVOS	7
4 METODOLOGÍA	8
5 ESTRUCTURA	9
CAPÍTULO 2. ESTADO DE LA TÉCNICA	11
1 INTRODUCCIÓN	13
2 RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO	13
3 MEDIDA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO	14
4 PREDICTORES DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO	15
5 PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO	16
5.1 PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO CON TÉCNICAS TRADICIONALES	16
5.2 PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO CON TÉCNICAS AVANZADAS	18
CAPÍTULO 3. MUESTRA OBJETO DEL ANÁLISIS	21
1 INTRODUCCIÓN	23
2 OBTENCIÓN DE LOS DATOS	23
2.1 PRIMERA ETAPA	23
2.2 SEGUNDA ETAPA	24
2.3 TERCERA ETAPA	26
2.4 CUARTA ETAPA	29
CAPÍTULO 4. MÉTODOS PARA ANÁLISIS PRELIMINARES	31
1 INTRODUCCIÓN	33
2 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS	33
2.1 TABLAS DE FRECUENCIAS	33
2.2 HISTOGRAMAS	34
3 MEDIDAS ESTADÍSTICAS	34
3.1 MEDIDAS ESTADÍSTICAS DE POSICIÓN	34
3.2 MEDIDAS ESTADÍSTICAS DE DISPERSIÓN	35
3.3 MEDIDAS ESTADÍSTICAS DE FORMA	36
4 VALORES ATÍPICOS Y DIAGRAMAS DE CAJA	38
4.1 CUARTILES	38
4.2 VALORES ATÍPICOS Y EXTREMOS	39
4.3 DIAGRAMAS DE CAJA O BOXPLOT	40
5 TEST DE NORMALIDAD	41
CAPÍTULO 5. MÉTODOS TRADICIONALES PARA ESTUDIO DE CORRELACIONES APLICABLE AL DESARROLLO DE MODELOS	43
1 INTRODUCCIÓN	45
1.1 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON	45

CAPÍTULO 6. MÉTODOS AVANZADOS DE REGRESIÓN PARA DESARROLLO DE MODELOS	47
1 INTRODUCCIÓN	49
2 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN	49
3 TÉCNICAS DE REGRESIÓN APLICADAS TANTO A MODELOS GLOBALES COMO LOCALES	49
3.1 REDES NEURONALES ARTIFICIALES	49
3.2 MÁQUINAS DE VECTORES SOPORTE	63
3.3 REGRESIÓN POLINOMIAL	71
4 TÉCNICAS DE AGRUPAMIENTO. EL MÉTODO K-MEANS DE GENERACIÓN DE CLUSTERS PARA MODELOS LOCALES	74
4.1 ALGORITMO K-MEANS	74
5 TÉCNICAS DE VALIDACIÓN	76
5.1 MÉTODO HOLDOUT	77
5.2 MÉTODO DE VALIDACIÓN CRUZADA	77
5.3 EVALUACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN	78
CAPÍTULO 7. PROPUESTA DE MODELADO	79
1 INTRODUCCIÓN	81
1.1 MÉTODOS PROPUESTOS PARA SU USO EN MODELOS GLOBALES	81
1.2 MÉTODOS PROPUESTOS PARA SU USO EN MODELOS LOCALES	83
CAPÍTULO 8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA MUESTRA	85
1 INTRODUCCIÓN	87
2 PRIMERA ETAPA	87
3 SEGUNDA ETAPA	87
4 TERCERA ETAPA	93
4.1 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD EN ELECTRICIDAD	93
4.2 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL	118
5 CUARTA ETAPA	141
5.1 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD EN ELECTRICIDAD	141
5.2 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	145
CAPÍTULO 9. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN	149
1 INTRODUCCIÓN	151
2 TERCERA ETAPA	151
2.1 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN	151
3 CUARTA ETAPA	157
3.1 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN.	157
CAPÍTULO 10. RESULTADOS DEL MODELADO DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO BASADO EN TÉCNICAS AVANZADAS	171
1 INTRODUCCIÓN	173
2 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ELECTRICIDAD	173
2.1 MODELADO HACIA DELANTE	173
2.2 MODELADO LATERAL.	185
3 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ELECTRÓNICA INDUSTRIAL	191
3.1 MODELADO HACIA DELANTE	191
3.2 MODELADO LATERAL	199
4 RESUMEN DE LOS RESULTADOS	204
5 RENDIMIENTO DE LAS TÉCNICAS DE REGRESIÓN UTILIZADAS	212

CAPÍTULO 11. VALIDACIÓN Y COMPROBACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MODELO ANTE CASOS CONCRETOS	213
1 INTRODUCCIÓN	215
2 SIMULACIÓN DEL EXPEDIENTE ACADÉMICO. CASOS ALEATORIOS	215
2.1 RESULTADOS DEL MODELADO HACIA DELANTE	215
2.2 RESULTADOS DEL MODELADO LATERAL	220
3 SIMULACIÓN DEL EXPEDIENTE ACADÉMICO. CASOS ATÍPICOS	224
3.1 RESULTADOS DEL MODELADO HACIA DELANTE	224
3.2 RESULTADOS DEL MODELADO LATERAL	229
4 VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS DE VALIDACIÓN Y DEL COMPORTAMIENTO DEL MODELO	233
4.1 VALORACIÓN DE LOS CASOS ALEATORIOS	233
4.2 VALORACIÓN DE LOS CASOS ATÍPICOS	245
CAPÍTULO 12. CONCLUSIONES	257
1 CONCLUSIONES	259
CAPÍTULO 13. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA Y TRABAJOS FUTUROS	261
1 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA	263
2 TRABAJOS FUTUROS	263
CAPÍTULO 14. REFERENCIAS	265
1 REFERENCIAS	267

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Información del expediente académico.	27
Ilustración 2. Edad de ingreso de los estudiantes en la Universidad.	34
Ilustración 3. Medidas de asimetría	37
Ilustración 4. Tipos de curtosis.	38
Ilustración 5. Ejemplo de identificación de valores atípicos y extremos.	39
Ilustración 6. Diagrama de caja o boxplot.	40
Ilustración 7. Modelo genérico de una neurona.	50
Ilustración 8. Función sigmoideal.	52
Ilustración 9. Función tangente hiperbólica.	52
Ilustración 10. Estructura de una red neuronal multicapa.	53
Ilustración 11. Arquitectura del Perceptron Multicapa.	56
Ilustración 12. Método de aprendizaje MLP.	57
Ilustración 13. Hiperplano de separación óptimo.	63
Ilustración 14. Función de pérdida e-insensible.	65
Ilustración 15. Espacio de entradas y espacio de características.	70
Ilustración 16. Ejemplo de evolución de un k-means. Figuras adaptadas de: http://www.elet.polimi.it/	76
Ilustración 17. Proceso de modelado global.	81
Ilustración 18. Obtención del mejor modelo.	82
Ilustración 19. Esquema del sistema para modelos híbridos locales.	84
Ilustración 20. Estudiantes por género.	88
Ilustración 21. Procedencia geográfica de los estudiantes.	88
Ilustración 22. Estudiantes según la forma de acceso a la titulación.	89
Ilustración 23. Histograma de la edad de inicio de los estudios universitarios.	90
Ilustración 24. Estudiantes que finalizan sus estudios.	91
Ilustración 25. Histograma de la edad de finalización de los estudios.	92
Ilustración 26. Histograma del número de cursos empleados para finalizar los estudios.	93
Ilustración 27. Calificaciones medias de las materias.	99
Ilustración 28. Calificaciones medias por curso académico.	100
Ilustración 29. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del primer curso.	101
Ilustración 30. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del 2º curso.	102
Ilustración 31. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del tercer curso.	102
Ilustración 32. Histograma de Física.	105
Ilustración 33. Histograma de Matemáticas I.	105
Ilustración 34. . Histograma de Teoría de Circuitos.	106
Ilustración 35. Histograma de Informática.	106
Ilustración 36. Histograma de Expresión Gráfica.	107
Ilustración 37. Histograma de Estadística.	107
Ilustración 38. Histograma de Química.	108
Ilustración 39. Histograma de Materiales Eléctricos y Magnéticos.	108
Ilustración 40. Histograma de Teoría de Mecanismos.	109
Ilustración 41. Histograma de Electrometría.	109

Ilustración 42. Histograma de Electrónica Industrial.	110
Ilustración 43. Histograma de Instalaciones Eléctricas.	110
Ilustración 44. Histograma de Regulación Automática.	111
Ilustración 45. Histograma de Máquinas Eléctricas I.	111
Ilustración 46. Histograma de Circuitos Eléctricos.	112
Ilustración 47. Histograma de Programación Industrial.	112
Ilustración 48. Histograma de Matemáticas II.	113
Ilustración 49. Histograma de Mecánica de Fluidos.	113
Ilustración 50. Histograma de Transporte de Energía Eléctrica.	114
Ilustración 51. Histograma de Centrales Eléctricas.	114
Ilustración 52. Histograma de Máquinas Eléctricas II.	115
Ilustración 53. Histograma de Oficina Técnica.	115
Ilustración 54. Histograma de Administración de Empresas y Organización Industrial.	116
Ilustración 55. Histograma de Aplicación de Máquinas Eléctricas.	116
Ilustración 56. Histograma de Construcción.	117
Ilustración 57. Histograma del Proyecto Fin de Carrera.	117
Ilustración 58. Calificaciones medias de las materias.	123
Ilustración 59. Calificaciones medias por curso académico	124
Ilustración 60. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del 1 ^{er} curso.	125
Ilustración 61. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del 2 ^o curso.	126
Ilustración 62. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del 3er curso.	126
Ilustración 63. Histograma de Física.	129
Ilustración 64. Histograma de Matemáticas I.	129
Ilustración 65. Histograma de Teoría de Circuitos.	130
Ilustración 66. Histograma de Informática.	130
Ilustración 67. Histograma de Expresión Gráfica.	131
Ilustración 68. Histograma de Tecnología Electrónica.	131
Ilustración 69. Histograma de Estadística.	132
Ilustración 70. Histograma de Química.	132
Ilustración 71. Histograma de Sistemas Mecánicos.	133
Ilustración 72. Histograma de Regulación Automática.	133
Ilustración 73. Histograma de Electrónica Analógica.	134
Ilustración 74. Histograma de Electrónica Digital.	134
Ilustración 75. Histograma de Diseño de Sistemas Electrónicos.	135
Ilustración 76. Histograma de Sistemas Eléctricos.	135
Ilustración 77. Histograma de Programación Industrial.	136
Ilustración 78. Histograma de Sistemas Oleoneumáticos.	136
Ilustración 79. Histograma de Matemáticas II.	137
Ilustración 80. Histograma de Informática Industrial.	137
Ilustración 81. Histograma de Automatización Industrial.	138
Ilustración 82. Histograma de Instrumentación Electrónica.	138
Ilustración 83. Histograma de Oficina Técnica.	139
Ilustración 84. Histograma de Administración de Empresas y Organización Industrial.	139
Ilustración 85. Histograma de Electrónica de Potencia.	140
Ilustración 86. Histograma de Tecnología Energética.	140
Ilustración 87. Histograma de Proyecto Fin de Carrera.	141

Ilustración 88. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del primer curso.	142
Ilustración 89. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del segundo curso.	143
Ilustración 90. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del tercer curso.	144
Ilustración 91. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del primer curso	145
Ilustración 92. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del segundo curso.	146
Ilustración 93. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del tercer curso.	147
Ilustración 94. Esquema del modelado hacia delante.	174
Ilustración 95. Esquema del modelado lateral, I.T.I. Electricidad.	185
Ilustración 96. Modelado lateral. ITI, Electrónica Industrial.	199
Ilustración 97. Comportamiento de los modelos. ITI, Electricidad. Calificaciones.	205
Ilustración 98. Comportamiento de los modelos. ITI, Electrónica. Calificaciones.	207
Ilustración 99. Comportamiento de los modelos. ITI, Electricidad. Convocatorias.	209
Ilustración 100. Comportamiento de los modelos. ITI, Electrónica. Convocatorias.	211
Ilustración 101. Rendimiento de las técnicas utilizadas en los modelos globales.	212
Ilustración 102. Rendimiento de las técnicas utilizadas en los modelos locales.	212
Ilustración 103. Modelado calificaciones. Expediente académico completo.	234
Ilustración 104. Modelado calificaciones. Segundo y tercer curso.	235
Ilustración 105. Modelado calificaciones. Tercer curso.	236
Ilustración 106. Modelado convocatorias. Expediente académico completo.	240
Ilustración 107. Modelado convocatorias. Segundo y tercer curso.	241
Ilustración 108. Modelado convocatorias. Tercer curso.	242
Ilustración 109. Modelado calificaciones. Expediente académico completo.	246
Ilustración 110. Modelado calificaciones. Segundo y tercer curso.	247
Ilustración 111. Modelado calificaciones. Tercer curso.	248
Ilustración 112. Modelado convocatorias. Expediente académico completo.	252
Ilustración 113. Modelado convocatorias. Segundo y tercer curso.	253
Ilustración 114. Modelado convocatorias. Tercer curso.	254

Índice de tablas

Tabla 1. Datos académicos de los estudiantes, 1ª etapa.	23
Tabla 2. Vías de acceso a la Universidad de los estudiantes, 1ª etapa.	24
Tabla 3. Datos académicos de los estudiantes, 2ª etapa.	25
Tabla 4. Datos académicos de los estudiantes, 2ª etapa (continuación).	25
Tabla 5. Datos de la tercera etapa, primer curso.	27
Tabla 6. Datos de la tercera etapa, segundo curso.	28
Tabla 7. Datos de la tercera etapa, tercer curso.	28
Tabla 8. Datos de la cuarta etapa, calificaciones penalizadas según convocatoria.	29
Tabla 9. Tabla de frecuencias.	33
Tabla 10. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson	46
Tabla 11. Nº de estudiantes matriculados por género.	87
Tabla 12. Número de estudiantes según lugar de procedencia	88
Tabla 13. Vías de acceso a la titulación	89
Tabla 14. Edad de acceso de los estudiantes a los estudios universitarios.	90
Tabla 15. Edades de los titulados.	91
Tabla 16. Número de cursos empleados para finalizar los estudios	92
Tabla 17. Plan de estudios de ITI, Electricidad	94
Tabla 18. Medidas estadísticas de posición de las calificaciones de los estudiantes.	95
Tabla 19. Medidas estadísticas de dispersión de las calificaciones de los estudiantes.	96
Tabla 20. Medidas estadísticas de forma de las calificaciones de los estudiantes.	97
Tabla 21. Pruebas de normalidad de las calificaciones de cada materia.	103
Tabla 22. Plan de estudios de ITI, Electrónica.	118
Tabla 23. Medidas estadísticas de posición de las materias cursadas por los estudiantes.	119
Tabla 24. Medidas estadísticas de dispersión de las materias cursadas por los estudiantes.	120
Tabla 25. Medidas estadísticas de forma de las materias cursadas por los estudiantes.	121
Tabla 26. Pruebas de contraste de normalidad de las calificaciones de cada materia.	127
Tabla 27. Matriz correlaciones entre calificaciones. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.	152
Tabla 28. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.	153
Tabla 29. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.	153
Tabla 30. Matriz de correlaciones de materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.	155
Tabla 31. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.	156
Tabla 32. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.	156
Tabla 33. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.	158
Tabla 34. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.	159
Tabla 35. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.	159
Tabla 36. Matriz de correlación entre convocatorias. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.	161
Tabla 37. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.	162
Tabla 38. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 3º.	162
Tabla 39. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.	164
Tabla 40. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.	165
Tabla 41. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.	165

Tabla 42. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.	167
Tabla 43. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.	168
Tabla 44. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 3º.	168
Tabla 45. Mejores algoritmos por cluster, calificación.	174
Tabla 46. Errores absolutos medios obtenidos por cluster, calificación.	175
Tabla 47. MSE obtenido por cluster, calificación.	175
Tabla 48. Mejores algoritmos por cluster, convocatoria.	176
Tabla 49. Errores absolutos medios obtenidos por cluster, convocatoria.	176
Tabla 50. MSE obtenido por cluster, convocatoria.	176
Tabla 51. Resultados de 101 - Física.	178
Tabla 52. Resultados de 102 - Matemáticas I.	178
Tabla 53. Resultados de 103 - Teoría de Circuitos.	178
Tabla 54. Resultados de 104 - Fundamentos de Informática.	178
Tabla 55. Resultados de 105 - Expresión Gráfica.	179
Tabla 56. Resultados de 107 - Estadística.	179
Tabla 57. Resultados de 108 - Química.	179
Tabla 58. Resultados de 116 - Materiales Eléctricos y Magnéticos.	179
Tabla 59. Resultados de 120 - Teoría de Mecanismos y Estructuras.	180
Tabla 60. Resultados de 201-Electrometría.	180
Tabla 61. Resultados de 202 - Electrónica Industrial.	180
Tabla 62. Resultados de 203 - Instalaciones Eléctricas.	180
Tabla 63. Resultados de 204 - Regulación Automática.	181
Tabla 64. Resultados de 206 - Máquinas Eléctricas I.	181
Tabla 65. Resultados de 207 - Circuitos Eléctricos.	181
Tabla 66. Resultados de 208 - Programación Industrial.	181
Tabla 67. Resultados de 209 - Matemáticas II.	182
Tabla 68. Resultados de 210 - Mecánica de Fluidos y Termodinámica.	182
Tabla 69. Resultados de 301 - Transporte de Energía Eléctrica.	182
Tabla 70. Resultados de 302 - Centrales Eléctricas.	182
Tabla 71. Resultados de 303 - Máquinas Eléctricas II.	183
Tabla 72. Resultados de 304 - Oficina Técnica.	183
Tabla 73. Resultados de 305 - Administración de Empresas y Org. Industrial.	183
Tabla 74. Resultados de 306 - Aplicación de Máquinas Eléctricas.	183
Tabla 75. Resultados de 307 - Construcción Industrial.	184
Tabla 76. Resultados de 310 - Proyecto Fin de Carrera.	184
Tabla 77. Resultados de 101 - Física.	187
Tabla 78. Resultados de 102 - Matemáticas.	187
Tabla 79. Resultados de 107 - Estadística.	187
Tabla 80. Resultados de 116 - Materiales Eléctricos y Magnéticos.	187
Tabla 81. Resultados de 120 - Teoría de Mecanismos y Estructuras.	188
Tabla 82. Resultados de 203 - Instalaciones Eléctricas.	188
Tabla 83. Resultados de 204 - Regulación Automática.	188
Tabla 84. Resultados de 206 - Máquinas Eléctricas I.	188
Tabla 85. Resultados de 207 - Circuitos Eléctricos.	189
Tabla 86. Resultados de 208 - Programación Industrial.	189
Tabla 87. Resultados de 301 - Transporte de Energía Eléctrica.	189

Tabla 88. Resultados de 303 - Máquinas Eléctricas II.	189
Tabla 89. Resultados de 304 - Oficina Técnica.	190
Tabla 90. Resultados de 306 - Aplicación de Máquinas Eléctricas.	190
Tabla 91. Resultados de 101 - Física.	192
Tabla 92. Resultados de 102 - Matemáticas II.	192
Tabla 93. Resultados de 103 - Teoría de Circuitos.	192
Tabla 94. Resultados de 104 - Fundamentos de Informática.	193
Tabla 95. Resultados de 105 - Expresión Gráfica	193
Tabla 96. Resultados de 106 - Tecnología Electrónica.	193
Tabla 97. Resultados de 107 - Estadística.	193
Tabla 98. Resultados de 108 - Química.	194
Tabla 99. Resultados de 120 - Sistemas Mecánicos.	194
Tabla 100. Resultados de 201 - Regulación Automática.	194
Tabla 101. Resultados de 202 - Electrónica Analógica.	194
Tabla 102. Resultados de 203 - Electrónica Digital.	195
Tabla 103. Resultados de 205 - Diseño de Sistemas Electrónicos Digitales.	195
Tabla 104. Resultados de 206 - Sistemas Eléctricos.	195
Tabla 105. Resultados de 207 - Programación Industrial.	195
Tabla 106. Resultados de 208 - Sistemas Oleoneumáticos.	196
Tabla 107. Resultados de 209 - Matemáticas II.	196
Tabla 108. Resultados de 301 - Informática Industrial.	196
Tabla 109. Resultados de 302 - Automatización Industrial.	196
Tabla 110. Resultados de 303 - Instrumentación Electrónica.	197
Tabla 111. Resultados de 304 - Oficina Técnica.	197
Tabla 112. Resultados de 305 - Administración de Empresas y Org. Industrial.	197
Tabla 113. Resultados de 306 - Electrónica de Potencia.	197
Tabla 114. Resultados de 307 - Tecnología Energética.	198
Tabla 115. Resultados de 310 - Proyecto Fin de Carrera.	198
Tabla 116. Resultados de 102 - Matemáticas.	200
Tabla 117. Resultados de 103 - Teoría de Circuitos.	201
Tabla 118. Resultados de 106 - Tecnología Electrónica.	201
Tabla 119. Resultados de 107 - Estadística.	201
Tabla 120. Resultados de 120 - Sistemas Mecánicos.	201
Tabla 121. Resultados de 201 - Regulación Automática.	202
Tabla 122. Resultados de 202 - Electrónica Analógica.	202
Tabla 123. Resultados de 203 - Electrónica Digital.	202
Tabla 124. Resultados de 206 - Sistemas Eléctricos.	202
Tabla 125. Resultados de 301 - Informática Industrial.	203
Tabla 126. Resultados de 302 - Automatización Industrial.	203
Tabla 127. Resultados de 303 - Instrumentación Electrónica.	203
Tabla 128. Resultados de 306 - Electrónica de Potencia.	203
Tabla 129. Resumen de los resultados del MAE, calificaciones. ITI, Electricidad.	204
Tabla 130. Resumen de los resultados del MAE, calificaciones. ITI, Electrónica.	206
Tabla 131. Resumen de los resultados del MAE, convocatorias. ITI, Electricidad.	208
Tabla 132. Resumen de los resultados del MAE, convocatorias. ITI, Electrónica	210
Tabla 133. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.	216

Tabla 134. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.	217
Tabla 135. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.	218
Tabla 136. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.	218
Tabla 137. Simulación del expediente académico del tercer curso, calificaciones.	219
Tabla 138. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.	219
Tabla 139. Simulación de la calificación del Proyecto Fin de Carrera.	220
Tabla 140. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.	221
Tabla 141. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.	222
Tabla 142. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.	223
Tabla 143. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.	223
Tabla 144. Simulación del expediente académico del tercer curso y del PFC, calificaciones.	224
Tabla 145. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.	224
Tabla 146. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.	225
Tabla 147. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.	226
Tabla 148. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.	227
Tabla 149. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.	227
Tabla 150. Simulación del expediente académico del tercer curso, calificaciones.	228
Tabla 151. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.	228
Tabla 152. Simulación de la calificación del Proyecto Fin de Carrera.	228
Tabla 153. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.	230
Tabla 154. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.	230
Tabla 155. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.	231
Tabla 156. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.	232
Tabla 157. Simulación del expediente del tercer curso y del PFC, calificaciones.	232
Tabla 158. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.	232
Tabla 159. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, calificaciones.	237
Tabla 160. Resumen de los resultados del modelado lateral, calificaciones.	238
Tabla 161. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, convocatorias.	243
Tabla 162. Resumen de los resultados del modelado lateral, convocatorias.	244
Tabla 163. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, calificaciones.	249
Tabla 164. Resumen de los resultados del modelado lateral, calificaciones.	250
Tabla 165. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, convocatorias.	255
Tabla 166. Resumen de los resultados del modelado lateral, convocatorias.	256

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Media aritmética	34
Ecuación 2. Mediana para un número de observaciones impar.	35
Ecuación 3. Mediana para un número par de observaciones.	35
Ecuación 4. Rango de un conjunto de observaciones.	36
Ecuación 5. Varianza	36
Ecuación 6. Desviación típica	36
Ecuación 7. Coeficiente de asimetría de Fisher.	37
Ecuación 8. Coeficiente de curtosis.	38
Ecuación 9. Recorrido intercuartílico.	39
Ecuación 10. Estadístico de Kolmogorov-Smirnov.	41
Ecuación 11. Coeficiente de correlación de Pearson	45
Ecuación 12. Coeficiente de determinación.	46
Ecuación 13. Señal de entrada a la neurona artificial.	51
Ecuación 14. Señal de salida de la neurona artificial.	51
Ecuación 15. Señal de salida de la neurona en forma vectorial.	51
Ecuación 16. Función lineal.	51
Ecuación 17. Función sigmoideal.	52
Ecuación 18. Función tangente hiperbólica.	52
Ecuación 19. Regla de Hebb.	54
Ecuación 20. Nivel de activación de la neurona s_i .	57
Ecuación 21. Salida de la neurona i .	58
Ecuación 22. Nivel de activación de la neurona k .	58
Ecuación 23. Salida de la neurona k .	58
Ecuación 24. Función de error.	58
Ecuación 25. Expresión para calcular las derivadas parciales de E^P respecto a w_{ik} .	59
Ecuación 26. Sensibilidad de la neurona de salida k -ésima.	59
Ecuación 27. Valor de la sensibilidad de la neurona de salida k -ésima.	59
Ecuación 28. Estado de activación de la neurona i .	59
Ecuación 29. Expresión para calcular la derivada parcial de E^P con respecto a w_{ik} .	60
Ecuación 30. Regla de actualización de los pesos en la capa de salida.	60
Ecuación 31. Expresión para calcular la actualización de los pesos en la capa de salida.	60
Ecuación 32. Actualización de los pesos de la "bias".	60
Ecuación 33. Expresión para calcular la función de error.	61
Ecuación 34. Expresión para calcular el gradiente E^P con respecto a w_{ji} .	61
Ecuación 35. Cálculo del gradiente E^P con relación a w_{ji} .	61
Ecuación 36. Cálculo de la sensibilidad de la i -ésima neurona de la capa intermedia.	61
Ecuación 37. Modificación de los pesos entre capa de entrada y la capa intermedia.	62
Ecuación 38. Regla de adaptación de los pesos en la capa intermedia.	62
Ecuación 39. Adaptación de los pesos de las "bias".	62
Ecuación 40. Sensibilidad de las neuronas de la capa de salida.	62
Ecuación 41. Función lineal para regresión.	64

Ecuación 42. Función de pérdida e-insensible.	64
Ecuación 43. Formulación del problema primal.	65
Ecuación 44. Función de Lagrange.	66
Ecuación 45. Condiciones de KKT-1.	66
Ecuación 46. Condiciones de KKT-2.	66
Ecuación 47. Condiciones de KKT-3	66
Ecuación 48. Condiciones de KKT-4	67
Ecuación 49. Condiciones de KKT-5	67
Ecuación 50. Condiciones de KKT-6	67
Ecuación 51. Expresión que relaciona el problema primal con el dual.	67
Ecuación 52. Restricciones adicionales de las variables duales	67
Ecuación 53. Función de Lagrange sin variables primales	67
Ecuación 54. Formulación del problema dual	68
Ecuación 55. Función de regresión.	68
Ecuación 56. Restricciones de KKT.	68
Ecuación 57. Expresión empleada para calcular el valor de b^* .	68
Ecuación 58. Valor de b^* .	68
Ecuación 59. Función Kernel de regresión.	69
Ecuación 60. Función Kernel	69
Ecuación 61. Formulación del problema dual con funciones Kernel.	70
Ecuación 62. Modelo general de regresión.	71
Ecuación 63. Expresión de un polinomio de grado n .	71
Ecuación 64. Modelo de regresión polinomial.	71
Ecuación 65. Expresión para calcular S_r .	72
Ecuación 66. Derivada parcial de S_r (a_0).	72
Ecuación 67. Derivada parcial de S_r (a_1).	72
Ecuación 68. Derivada parcial de S_r (a_n).	72
Ecuación 69. Sistema de ecuaciones normales.	72
Ecuación 70. Expresión para calcular el error estándar.	73
Ecuación 71. Ecuaciones normales en forma matricial.	73
Ecuación 72. Función polinomial de primer grado.	73
Ecuación 73. Función polinomial de segundo grado.	73
Ecuación 74. Función de costo.	75
Ecuación 75. Condiciones de la función de pertenencia M_{in} .	75
Ecuación 76. Error cuadrático medio.	78
Ecuación 77. Error absoluto medio	78

Capítulo 1. Introducción

1 ANTECEDENTES

El Real Decreto 861/2010 [1], de 2 de julio, que modifica el Real Decreto 1393/2007 [2], de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas oficiales en España, determina que los títulos universitarios oficiales deberán someterse a unos procesos de evaluación externa, en diferentes etapas, por parte Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) o de las agencias de acreditación de las comunidades autónomas, en el caso de Galicia, la Axencia para a Calidade do Sistema Universitario de Galicia (ACSUG). Una primera etapa, previa a la implantación del título, a través del Programa Verifica [3] se evalúa el diseño del mismo. Una vez iniciada la impartición de las enseñanzas, se realiza un seguimiento de su desarrollo, a través del Programa Monitor [4]. Hay una tercera etapa en la que los planes de estudio, una vez hayan completado su implantación, deberán someterse a un proceso cíclico de renovación de su acreditación para mantener la condición de título oficial. Esta última fase se realizará según el Programa Acredita [5].

El proceso de evaluación, que será llevado a cabo para la renovación de la acreditación, tiene como principal objetivo, comprobar si los resultados de la implantación de las enseñanzas se ajustan a lo previsto y permiten garantizar la adecuada continuidad de su impartición, hasta la siguiente renovación de la acreditación.

La renovación de la acreditación de los títulos oficiales de Grado de 240 créditos deberá realizarse en el plazo máximo de seis años, desde la fecha de verificación del título o desde la fecha de su última acreditación [1].

Según el apartado 8 de resultados previstos, incluido en el Programa Verifica [3], en las memorias de verificación de los títulos se aportará una estimación de un conjunto de indicadores relacionados con los resultados previstos del título. En la fase de renovación de la acreditación se revisarán dichas estimaciones, atendiendo a las justificaciones y evidencias aportadas por la Universidad, y a las acciones derivadas de su seguimiento. La propuesta debe recoger, al menos, los valores relativos a los siguientes indicadores del título:

- Tasa de graduación.
- Tasa de abandono.
- Tasa de eficiencia.

Además, se recomienda incluir la tasa de rendimiento, puesto que dicho indicador será obligatorio en el proceso de seguimiento.

Según el criterio 7 de indicadores de satisfacción y rendimiento, del Programa Monitor [4], es necesario aportar los resultados de los indicadores que se indican a continuación:

- Tasa de graduación del título.

- La tasa de abandono del título.
- La tasa de eficiencia del título.
- La tasa de rendimiento del título.
- La tasa de rendimiento por asignaturas y cursos.

Siguiendo en el criterio 7 de indicadores de satisfacción y rendimiento, del Programa Acredita [5], se comprobará que se cumplen, en el momento de la renovación de la acreditación, los siguientes indicadores del título:

- Tasa de graduación.
- Tasa de abandono.
- Tasa de eficiencia.
- Tasa de rendimiento.
- Tasa de éxito.

Tal como se ha descrito, los indicadores utilizados para el seguimiento y acreditación de los títulos están directamente relacionados con el rendimiento académico del estudiante.

La reciente implantación de las titulaciones de Grado en Ingeniería, en la Universidad de A Coruña (UDC), durante el curso 2010/2011, hace que no se disponga en la actualidad de la suficiente información y perspectiva temporal para analizar con profundidad los resultados académicos obtenidos, ya que, en el curso 2013/2014 se graduaron los primeros estudiantes. Sin embargo, la experiencia en la impartición de las titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial, reemplazadas por los actuales Grados, indica que hay diversos aspectos relacionados con el rendimiento académico de los estudiantes, que es necesario mejorar: la duración media de los estudios y las tasas de rendimiento, graduación y abandono.

En la publicación [6] sobre el rendimiento académico de las Ingenierías Técnicas en España, con la información de matrícula de los cursos 1995/1996, 1996/1997, 1997/1998 y 1998/1999 y de los graduados de las mismas titulaciones de los cursos 1995/1996, 1996/1997 y 1997/1998, se obtienen los siguientes resultados:

- La relación titulados/matriculados, que toma un valor medio a nivel nacional del orden del 8%, es un valor mucho menor que el ideal (33.3%) o que el de países del entorno. Autores de otros trabajos [7] sobre las Ingenierías Técnicas dan valores del 15,3% en Alemania o del 17,9% en Francia.
- El porcentaje de estudiantes que acaban los estudios en el tiempo previsto (3 años) es del 11% del total de titulados, y en 4 años del 25%.
- Los estudiantes tardan una media de 5,41 años en graduarse.

- La media de las tasas de abandono se sitúa en un 70%, de los cuáles el 32% abandonan los estudios durante los dos primeros años. Por tanto, de cada 100 estudiantes matriculados sólo 30 consiguen graduarse.
- La tasa de rendimiento media es del 56 %.

Otro trabajo sobre el rendimiento académico en las enseñanzas universitarias [8], en el cual se analiza la evolución del indicador de rendimiento académico durante los cursos 2006/2007, 2008/2009 y 2010/2011, con la información recogida en los tres informes de la Universidad Española en Cifras [9], [10], [11], se publican las siguientes tasas de rendimiento para la rama de conocimiento de Ingeniería y Arquitectura:

- Curso académico 2006/2007, tasa de rendimiento: 50%.
- Curso académico 2008/2009, tasa de rendimiento: 60 %.
- Curso académico 2010/2011, tasa de rendimiento: 60 %.

Según [8], las tasas de rendimiento de las enseñanzas de Ingeniería y Arquitectura son las más bajas del Sistema Universitario Español (SUE). Comparándolas con las enseñanzas que mejor rendimiento obtienen, estudios de Ciencias de la Salud, son un 20% inferiores a estas.

En el informe [12] sobre los datos básicos del Sistema Universitario Español, se publican las tasas de rendimiento, éxito y evaluación del curso 2011/2012, por ramas de enseñanza. Para la rama de conocimiento de Ingeniería y Arquitectura, dichas tasas son:

- Tasa de rendimiento¹: 60,6 %.
- Tasa de éxito²: 74,8 %.
- Tasa de evaluación³: 81,1 %.

Si solamente tenemos en cuenta los resultados obtenidos en las Universidades Públicas, estos mismos datos son más bajos, tal como se indica a continuación:

- Tasa de rendimiento: 59,8 %.
- Tasa de éxito: 73,6 %.
- Tasa de evaluación: 80,1 %.

¹ Tasa de rendimiento: Relación porcentual entre número de créditos superados y número de créditos matriculados.

² Tasa de éxito: Relación porcentual entre número de créditos superados y número de créditos presentados.

³ Tasa de evaluación: Relación porcentual entre el número de créditos presentados y número de créditos matriculados

En esta misma publicación [12], también se indica que la notas más bajas se observan en la rama de Ingeniería y Arquitectura, donde sólo 1 de cada 4 estudiantes se titula con una nota media del expediente académico superior a 7.

Datos similares a los anteriores se obtienen en las titulaciones de Grado en Ingeniería Eléctrica y Grado en Ingeniería Electrónica y Automática, que se imparten en la Escuela Universitaria Politécnica de la UDC. Las medias de las tasas de rendimiento, éxito y evaluación para el curso 2011/2012, en dichas titulaciones, son:

- Tasa de rendimiento: 53,88 %.
- Tasa de éxito: 75,64 %.
- Tasa de evaluación: 71,23 %.

Las tasas de rendimiento y evaluación son inferiores a las del SUE, y la tasa de éxito es ligeramente superior.

Referente al análisis de los resultados de las tasas de: graduación, eficiencia y abandono, es necesario que transcurra un determinado tiempo para poder comparar el progreso de dichas tasas, ya que, durante los primeros cursos de la implantación de los planes de estudios de Grado, pueden verse alteradas por las siguientes circunstancias: la convivencia de dichos estudios con las titulaciones no adaptadas al EEES, la incorporación de estudiantes de planes de estudio anteriores y por el acceso de otros titulados, por ejemplo, los Ingenieros Técnicos.

Otro aspecto, no menos importante, es el análisis de la tasa de rendimiento por asignaturas, cuando en las titulaciones de Grado en Ingeniería, hay casos en los cuáles dichas tasas son inferiores al 20 %.

En [13] se presenta una comparativa a nivel internacional de los estudios tipo A (universitarios), siguiendo los indicadores de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). Dicho estudio proporciona datos sobre el rendimiento de los sistemas educativos de los 34 países miembros de la OCDE. La tasa de graduación en el año 2012 se situó en España en el 29%, estando este valor por debajo del promedio de la OCDE⁴ (37%) y de la UE21⁵ (38%).

Por todo lo expuesto, es crucial abordar el problema del bajo rendimiento académico de los estudiantes en las titulaciones de Ingeniería en general, y en concreto, de las titulaciones de Grado en Ingeniería Eléctrica y Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, de cara a mejorar este aspecto.

⁴ Los 34 países miembros de la OCDE son: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Corea, Dinamarca, Eslovenia, España, Estonia, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa, República Eslovaca, Reino Unido, Suecia, Suiza y Turquía

⁵ Los países de la UE-21 son miembros tanto de la Unión Europea como de la OCDE. Estos 21 países son: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa, República Eslovaca, Reino Unido y Suecia

2 MOTIVACIÓN

El seguimiento de los títulos está perfectamente regulado por la legislación, de acuerdo con los Criterios y Directrices de Garantía de Calidad en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) [14] y los Sistemas Internos de Garantía de Calidad (SGIC) [15] de cada centro universitario. Sin embargo, de cara al proceso de verificación, seguimiento y renovación de la acreditación de títulos, uno de los aspectos que más preocupa actualmente a los responsables de las instituciones universitarias es el cumplimiento de los indicadores relacionados con los resultados académicos de los estudiantes. Dichos indicadores se han incluido en las memorias de verificación de los títulos y es necesario justificarlos a la hora de la acreditación, tal como se ha indicado anteriormente.

A pesar de que las tareas de seguimiento de las titulaciones permiten detectar fortalezas y debilidades en las actuales enseñanzas, parece claro que un incremento en el rendimiento del estudiante se traduciría en una mejora de los indicadores referenciados en el apartado de antecedentes, y permitiría alcanzar mejores resultados académicos.

Una de las carencias de los trabajos realizados hasta el momento sobre predicción del rendimiento universitario, es el desconocimiento del rendimiento individual que cada estudiante tendrá en el futuro, por tanto, sería deseable analizar los factores que influyen en el rendimiento académico, detectar los mejores predictores de dicho rendimiento y desarrollar métodos y modelos, que permitan realizar una predicción del mismo a lo largo de la trayectoria académica del alumnado. De este modo, conociendo por anticipado el rendimiento particular de cada individuo, se podrían tomar de antemano medidas, tanto de forma individual como global, dirigidas a mejorar los resultados académicos de los estudiantes.

3 OBJETIVOS

La Escuela Universitaria Politécnica, perteneciente a la UDC, cuenta con amplia experiencia en la impartición de los estudios de Ingeniería Técnica Industrial, especialidades Electricidad y Electrónica Industrial. Dado que dichas titulaciones se imparten desde el curso 1996/1997 hasta la actualidad, y mantienen su continuidad con las enseñanzas de Grado equivalentes, se cree que la información, relativa a la trayectoria académica de los estudiantes, almacenada en los archivos universitarios puede ser relevante para analizar el rendimiento académico del alumnado.

En la búsqueda de los factores que pueden predecir el rendimiento académico, se decide hacer un estudio de la información referente a los estudiantes que han conseguido titularse, tal como figura en su expediente académico, con el fin de analizar la distribución de las calificaciones en cada asignatura y así, poder conocer la posible relación que tienen entre sí. De esta forma, se prevé que se pueda identificar el grado de dificultad para superar cada asignatura, la incidencia de cada una en el rendimiento del alumnado, si hay alguna materia que pueda utilizarse como predictora del rendimiento de las demás, si existen grupos de asignaturas similares, etc.

Por tanto, el objetivo principal de partida será analizar las calificaciones académicas de los estudiantes de Ingeniería Técnica Industrial que han finalizado sus estudios, para intentar identificar los factores que influyen en el rendimiento académico. Se tratará, de este modo, proponer un método para predecir el rendimiento futuro de los estudiantes de Grado, a partir de la información almacenada en las bases de datos de la Universidad. Para alcanzar el objetivo principal, se decide subdividirlo en los siguientes objetivos parciales:

- Analizar la distribución de las calificaciones en cada materia para detectar las diferencias y desviaciones importantes entre ellas.
- Identificar el nivel de dificultad de las materias y comprobar si está relacionado con el curso donde se ubican.
- Obtener y analizar la correlación entre las calificaciones de las distintas materias entre sí, tal como figuran en los expedientes de los estudiantes al finalizar su carrera.
- Comprobar si existen agrupaciones de asignaturas en función de las correlaciones obtenidas.
- Predecir el rendimiento académico individual del estudiante, expresado mediante calificaciones y convocatorias, a partir de los resultados académicos del alumnado que haya cursado los mismos estudios anteriormente.

4 METODOLOGÍA

8

La estrategia metodológica empleada para la consecución de los objetivos planteados ha sido estructurada en las siguientes etapas fundamentales:

1. Documentación. Se llevará a cabo una búsqueda y análisis de documentación que permita tener una visión detallada de los antecedentes y del estado actual de la materia. Dicha información se presentará organizada según los siguientes apartados:

- Rendimiento académico universitario.
- Medida del rendimiento académico.
- Predictores del rendimiento académico.
- Predicción del rendimiento académico con técnicas tradicionales y técnicas avanzadas.

2. Plan de trabajo. Se realizará un plan para abordar el trabajo de investigación en el que se trata de alcanzar los objetivos de partida. La planificación se puede desglosar en los siguientes puntos principales:

- Obtención de la muestra objeto del análisis.
- Análisis preliminares de los datos.
- Estudio de correlaciones para el desarrollo de modelos.
- Aplicación de métodos avanzados para el desarrollo de modelos.

- Resultados de:
 - Análisis preliminar de la muestra.
 - Análisis de correlación.
 - Modelado del rendimiento académico basado en técnicas avanzadas.
- Exposición de las conclusiones finales
- Descripción de los posibles trabajos futuros.

5 ESTRUCTURA

A pesar de que la estructura del presente trabajo de investigación guarda cierta similitud con las distintas etapas especificadas en el apartado anterior, se cree oportuno indicar la organización de los capítulos del mismo, tal como se detalla a continuación:

Tras concretar los aspectos relacionados con los antecedentes, motivación, objetivos, metodología y estructura en el presente capítulo, en el capítulo 2 se hace una revisión del estado actual de la técnica y de la investigación, relacionado con el rendimiento académico universitario y su predicción.

En el capítulo 3 se realiza una descripción de la muestra objeto del estudio, teniendo en cuenta las distintas etapas de obtención de los datos.

En los capítulos 4, 5 y 6 se detallan los métodos estadísticos tradicionales y los de técnicas avanzadas de regresión, empleados para el desarrollo de los modelos.

En el capítulo 7 se describe la propuesta de modelado y los procedimientos seguidos para su obtención.

En los capítulos 8, 9 y 10 se muestran los resultados por separado, según los métodos utilizados para obtenerlos.

En el capítulo 11 se incluyen los resultados de validación y de comprobación del comportamiento del modelo ante casos concretos.

En el capítulo 12 se presentan las conclusiones más relevantes de este trabajo.

En el capítulo 13 se especifican la producción científica relacionada con la presente investigación y los trabajos futuros que se podrán realizar partiendo de los resultados de la misma.

En el capítulo 14 se enumera la bibliografía empleada en la elaboración del trabajo de investigación.

Capítulo 2. Estado de la técnica

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza una revisión del estado actual, tanto de la técnica como de la investigación relacionada con el rendimiento académico universitario y su predicción.

El rendimiento académico de los estudiantes universitarios constituye una de las preocupaciones fundamentales a la hora de afrontar el tema de la calidad dentro de la Enseñanza Superior [16]. Según [17], se puede afirmar que las bajas notas medias, los altos porcentajes de no presentados a examen o suspensos y la alta tasa de repetición de cursos, no son un fenómeno reciente y se mantiene a lo largo de los años.

2 RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO

El rendimiento académico universitario es una calificación cuantitativa o cualitativa, una nota que, si es consistente y válida, será el reflejo de un determinado aprendizaje o del logro de los objetivos preestablecidos [18]. Es un indicador imprescindible y fundamental para la valoración de la calidad educativa del sistema universitario, y es un hecho asumido por los responsables universitarios y la sociedad en general [16], [19].

Aunque según [20], el concepto de rendimiento académico es un término complejo, relativo y contextual, del que es difícil aportar un criterio que lo defina y que sea aceptado por todos, tal como se recoge en [17], [21] y, desde un punto de vista práctico y operativo, lo habitual es identificar el rendimiento con resultados. Según este enfoque, el rendimiento académico se puede dividir en dos categorías:

- Rendimiento inmediato. Determinado por los resultados y calificaciones que obtienen los alumnos a lo largo de sus estudios hasta obtener la titulación correspondiente. Se definen en términos de éxito, retraso o abandono, en relación a un determinado período temporal.
- Rendimiento diferido. Trata de estimar las relaciones entre la calidad de la formación recibida durante los estudios universitarios y la aplicación o utilidad que tiene en la vida laboral que desarrollan los titulados.

La mayoría de los trabajos de investigación sobre rendimiento académico se realizan sobre el rendimiento inmediato [21], [22], porque suelen tener mayor impacto y son más fáciles de cuantificar.

Los estudios sobre rendimiento diferido no solamente tienen en cuenta el nivel de ocupación o empleo que desempeñan los titulados universitarios, sino que suelen realizarse a partir de indicadores de calidad relacionados con la opinión de los titulados y de las valoraciones de los empresarios [23].

Relacionado con el rendimiento diferido, La Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA), ha publicado un proyecto de investigación [24] relevante en este tema, en el cual han participado trece países europeos: Italia,

Francia, Austria, Alemania, Países Bajos, Reino Unido, Finlandia, Noruega, República Checa, Suiza, Bélgica, Estonia y España. El Research Centre for Education and the Labour Market de la Universidad de Maastricht se encargó de la gestión y coordinación del proyecto en el ámbito europeo, mientras que en España ha sido elaborado por ANECA en colaboración con el Centro de Estudios en Gestión de la Educación Superior de la Universidad Politécnica de Valencia (CEGES).

Los datos aportados al proyecto proceden de una encuesta realizada cinco años después de acabados sus estudios a universitarios europeos graduados en el curso 1999/2000. Así, se encuestó a cerca de 40.000 egresados en toda Europa y más de 5.500 en España, donde se ha contado con la participación de 48 universidades de diferentes Comunidades Autónomas.

Un aspecto a destacar de las conclusiones del referido proyecto, es la valoración global de los estudios que hacen los graduados respondiendo a la cuestión “Si pudieras volver atrás y fueras libre para elegir una carrera, ¿qué elegirías?”. Entre los graduados europeos, los españoles son los menos satisfechos con los estudios realizados, sólo un 50% declara que volvería a estudiar la misma carrera en la misma universidad, frente a porcentajes de “plena satisfacción” superiores al 60% en casi todos los países. Sin embargo, el resultado más llamativo es que casi un 10% de los españoles piensa que no volvería a seguir estudios de ningún tipo, cuando este porcentaje es casi nulo en el resto de países.

En la actualidad, dentro del marco del EEES, se han creado los Observatorios Ocupacionales de la Universidades dedicados al análisis de la inserción laboral de los estudiantes universitarios y su grado de satisfacción. Una parte importante del trabajo de dichos organismos consiste realizar el seguimiento de sus titulados. En dicho seguimiento, uno de los aspectos que se valora es el nivel de satisfacción de los titulados empleados, con relación a los estudios cursados. Un ejemplo de este tipo de trabajos son los informes realizados por el Observatorio Ocupacional de la UDC [25], sobre la inserción laboral y su grado de satisfacción de los titulados de dicha institución universitaria.

Dado que en el presente trabajo se aborda el rendimiento académico relacionado con los resultados inmediatos, es decir, con las calificaciones, en los siguientes apartados se hace referencia a los trabajos e investigaciones más relevantes relativos a este tema.

3 MEDIDA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO

Las calificaciones académicas son un indicador preciso y accesible para valorar el rendimiento académico, si se asume que las calificaciones reflejan los logros académicos en los diferentes componentes del aprendizaje, que incluyen aspectos personales, académicos y sociales [26].

A pesar del riesgo que implica utilizar las calificaciones de las pruebas de evaluación, por la posible subjetividad de los docentes [27] y porque sería imposible estandarizar

todos los mecanismos de evaluación [28], en la práctica, la mayoría de las investigaciones destinadas a explicar el éxito o el fracaso en los estudios universitarios, miden el rendimiento académico a través de las calificaciones o de la certificación académica de los estudiantes [17], [29] y [30].

Además, las calificaciones académicas constituyen en sí mismas el criterio social y legal del rendimiento del alumnado en la institución educativa [31]. Por ejemplo, son uno de los indicadores utilizados desde la Administración para concederles: plazas universitarias, becas, programas de intercambio, premios extraordinarios, etc.

Los resultados académicos del alumnado también son utilizados como medida para valorar el cumplimiento de los indicadores de rendimiento, que se exigen para la renovación de acreditación de los títulos adaptados al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), tanto en España [2] como en otros países [32]. Concretamente, en España, a través de los programas de evaluación, seguimiento y acreditación de los títulos [3], [4] y [5], se comprueban los resultados de los indicadores relacionados con los resultados académicos del alumnado: graduación, abandono, eficiencia, rendimiento y éxito del título.

Por todas las razones expuestas, en este trabajo se utilizan las calificaciones como medida del rendimiento académico de los estudiantes.

4 PREDICTORES DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO

Según [17], [33] y [34], los trabajos de investigación relacionados con la predicción del rendimiento, suelen diferenciar cinco tipos de factores que influyen en el rendimiento académico del estudiante y que pueden servir como predictores del mismo, éstos son:

- Variables de identificación (género y edad).
- Variables psicológicas (aptitudes intelectuales, personalidad, motivación, estrategias de aprendizaje, etc.).
- Variables académicas (tipos de estudios cursados, curso, rendimiento previo, etc.).
- Variables pedagógicas (definición de competencias de aprendizaje, metodología de enseñanza, estrategias de evaluación, etc.).
- Variables socio-familiares (estudios de los padres, profesión, nivel de ingresos, etc.).

Aunque todos los factores mencionados anteriormente tienen su incidencia sobre el rendimiento académico, en los estudios referidos al tema se manifiesta que el rendimiento previo al ingreso en la universidad es el mejor predictor del éxito/fracaso universitario [29]. Así lo demuestran [35]–[42] en sus trabajos realizados en sistemas universitarios distintos al español, con características diferentes y en contextos socioeconómicos distintos.

Lo mismo se refleja en diversos estudios efectuados dentro del sistema educativo español sobre el rendimiento académico universitario, por ejemplo, en el trabajo [43] realizado en la Universidad de Valencia, en los trabajos [20] y [44] efectuados en la

Universidad de Salamanca, en el [45] llevado a cabo en la Universidad de Oviedo, en los [26] y [46] realizados en la Universidad de Barcelona, en el [47] practicado en la Universidad Politécnica de Valencia, en el [48] efectuado en la Universidad Católica de San Antonio de Murcia, en el [49] realizado sobre los estudiantes de la Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de Extremadura, Universidad de Oviedo, Universidad del País Vasco, Universidad de Sevilla y Universidad de Valencia, y el [50] ejecutado en la Universidad Complutense de Madrid.

En la publicación sobre el sistema universitario español [12], se indica que las tasas de rendimiento, éxito y evaluación mejoran significativamente según aumenta la nota de admisión en las universidades públicas presenciales. Tal es así que la tasa de rendimiento de aquellos que acceden con menos de un 5,5 es un 35 % inferior a la de los que acceden con una nota entre 12 y 14 puntos. Estos son los extremos, si se analizan los datos intermedios, por ejemplo los estudiantes con nota entre 8 y 9, obtienen una tasa de rendimiento casi un 21 % superior a la de los que están entre el 5 y el 5,5.

Además, según [16] y [21], cuánto más reciente sea la medida del rendimiento previo, mayor será su influencia sobre el rendimiento posterior. Es decir, el mejor predictor del rendimiento del primer curso de los estudios universitarios es el rendimiento de la epata del bachillerato. En los sucesivos cursos universitarios, el mejor predictor del rendimiento son los resultados de los cursos previos cursados por el estudiante.

5 PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO UNIVERSITARIO

Los gran mayoría de los trabajos de investigación sobre predicción de rendimiento académico universitario se centran en predecir las posibilidades de éxito/fracaso de los estudiantes en una determinada carrera, y en calcular el rendimiento global que tendrán a lo largo de los estudios [51], [52]. En dichos trabajos, las técnicas utilizadas son las tradicionales de estadística y las avanzadas de minería de datos [53], [54].

En los siguientes apartados, se resalta lo más significativo de algunos trabajos relevantes para la predicción del rendimiento académico, clasificándolos según la técnica que se ha empleado.

5.1 Predicción del rendimiento con técnicas tradicionales

Las técnicas estadísticas más utilizadas son: las de regresión múltiple para predecir el rendimiento global en la titulación y las de regresión logística para pronosticar las posibilidades de éxito/fracaso en los estudios [50]. A continuación se relacionan algunos trabajos en los que se emplean dichas técnicas.

Utilizando la técnica estadística de regresión múltiple, en [55] se realiza la predicción del rendimiento académico global de alumnos universitarios pertenecientes al Centro Asociado de la UNED de Ceuta, a partir de las variables de: las condiciones familiares

de los alumnos, la labor tutorial llevada a cabo en el centro, los hábitos de estudio, la capacidad de los alumnos y las notas de acceso.

En [50] se publica un estudio sobre alumnos del primer curso de Psicología de la Universidad Complutense de Madrid para predecir el éxito/fracaso académico en la asignatura de Métodos y Diseños de Investigación. La técnica utilizada es la regresión logística.

Mediante regresión lineal [56], se realiza la predicción del rendimiento académico global de los estudiantes del primer curso de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Johannesburgo, a partir de las puntuaciones alcanzadas en un cuestionario realizado sobre el estudio y la resolución de problemas en matemáticas.

Utilizando regresión logística [57], en la Facultad de Economía de la Universidad de Sydney, se efectúa el modelado de la progresión del alumnado en la materia de Econometría, correspondiente al primer curso, para la identificación de los estudiantes en riesgo de abandonar la titulación.

En el trabajo [58], se presenta un estudio sobre el rendimiento académico de los estudiantes de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia) en la asignatura de Matemáticas. A partir del nivel de lectura, el nivel de razonamiento lógico abstracto y la puntuación de una prueba específica, predicen mediante regresión logística el éxito/fracaso en dicha asignatura.

En la investigación [51] se emplea regresión logística para obtener la probabilidad de éxito/fracaso en la asignatura de Modelos Probabilísticos de los Procesos, a partir de los resultados académicos logrados en el primer curso de la titulación de Ingeniería Industrial, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Industrial de la Habana.

En la publicación [59], mediante regresión lineal se estudia el rendimiento académico final de los estudiantes en la asignatura de Dinámica, perteneciente a las titulaciones de Ingeniería de la Universidad del Estado de Utah. En este trabajo se realiza la predicción del rendimiento final de la asignatura, a partir de las calificaciones obtenidas en las materias de Estática, Cálculo y Física, y las notas de tres exámenes parciales de la materia de Dinámica.

En el trabajo de investigación llevado a cabo en la Universidad de Michigan [60], se realiza la predicción del rendimiento del alumnado en la materia de Química, a partir del rendimiento previo y de los resultados alcanzados en una prueba de autoaprendizaje. La técnica utilizada fue la regresión múltiple.

Mediante regresión logística, en el trabajo [29] llevado a cabo en la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, se explica la probabilidad de éxito/fracaso en la asignatura Matemáticas Empresariales correspondiente al Grado en Administración y Dirección de Empresas. Las variables utilizadas para predecir el rendimiento son: la asistencia a clases, valoración por parte del estudiante del material utilizado para el seguimiento de la asignatura, el tipo de centro en que se cursaron los estudios preuniversitarios y la asistencia a clases de apoyo.

En [61] se estudia la probabilidad de éxito/fracaso del alumnado en las materias de Matemáticas, correspondientes a las titulaciones de: Económicas y Administración y Dirección de Empresas de la Universidad de Murcia. Se emplea la técnica de regresión logística y las variables utilizadas como predictoras son las calificaciones de acceso a la universidad.

Relacionados con las enseñanzas de la rama de Ingeniería y Arquitectura, hay diversos trabajos de investigación [62]–[64] enfocados a predecir el rendimiento académico de los estudiantes mediante regresión lineal, a partir de la capacidad espacial que éstos demuestran en la realización de diversas pruebas estándar [65] de visualización espacial. En otras ramas de conocimiento, como la de Artes y Humanidades, también se realizan este tipo de pruebas para predecir el rendimiento académico [66].

5.2 Predicción del rendimiento con técnicas avanzadas

La mayoría de los trabajos de investigación realizados sobre la predicción del rendimiento académico universitario, llevados a cabo mediante técnicas avanzadas, han recurrido al proceso denominado minería de datos en educación (Educational Data Mining - EDM) [67]. En diversas publicaciones [68]–[72] se recoge, de forma exhaustiva, la evolución del estado de la técnica y de la investigación sobre EDM desde el año 1995 hasta la actualidad. Tal como se desprende de los citados trabajos, los estudios realizados en el ámbito de la predicción del rendimiento, están enfocados fundamentalmente a predecir: las posibilidades de éxito/fracaso del alumnado [73]–[75] y el rendimiento global en un determinado estudio o materia [76]–[78].

18

Los métodos más usados en EDM son los árboles de decisión, las redes neuronales y las redes bayesianas, siendo las técnicas más comúnmente aplicadas las de regresión, clasificación y clustering [69]. A continuación se relacionan algunos trabajos en los que se utilizan dichas técnicas.

En la investigación [79] se realiza la predicción del retraso y del abandono de los estudiantes de las ramas de ciencias y de ingeniería, matriculados en la Universidad de la Commonwealth de Virginia, (Estados Unidos - EEUU).

En el trabajo [80] se efectúa un estudio del abandono de los estudiantes de nuevo ingreso en la Facultad de Economía de Split, Croacia. Se ha determinado el perfil típico del estudiante con tendencia a abandonar los estudios.

En la Universidad de Ohio, EEUU, se llevó a cabo el trabajo [81] para conocer por adelantado el abandono de los estudiantes de ingeniería.

En la publicación [82] se utiliza el algoritmo K-medias para clasificar los estudiantes, en base a una serie de características previas a su ingreso en la universidad. El objetivo es diseñar programas de mejora de rendimiento adecuados a las características de cada grupo. La citada publicación se realizó sobre estudiantes matriculados en la titulación de Ingeniería Industrial de la Universitas Islam Indonesia.

En [83] se realizó un estudio con alumnado de nuevo ingreso en la Universidad de Nevada, EEUU, para pronosticar las probabilidades de éxito/fracaso de los estudiantes y el tiempo que tardarían en graduarse

En el trabajo [84] efectuado con estudiantes matriculados en Ingeniería en la Universidad Purdue, EEUU, se predice el abandono en los estudios durante el primer año y el rendimiento global de los estudiantes al terminar el primer curso.

En [85] se publica un trabajo de investigación para predecir las posibilidades de éxito/fracaso de los estudiantes de las titulaciones de Grado, matriculados en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba.

En la investigación [86] se predicen las posibilidades de éxito/fracaso y el rendimiento global de los estudiantes matriculados en la Universidad de Alabama, EEUU.

En el trabajo [87] realizado con los estudiantes de la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica, se divide al alumnado en tres grupos según las probabilidades de riesgo de abandonar la titulación: alto, medio y bajo. El objetivo principal es la formación de grupos diferenciados, según el rendimiento académico previsto, para aplicar programas de ayuda que contribuyan a mejorar el rendimiento académico.

En la publicación [88] se predicen las materias que superarán los estudiantes en el primer semestre de la una titulación de ingeniería. El estudio se realiza en la Universidad Tecnológica de Tshwane, Sudáfrica.

*Capítulo 3. Muestra objeto del
análisis*

1 INTRODUCCIÓN

Se realiza en este capítulo la descripción de la muestra teniendo en cuenta las distintas etapas de obtención de los datos. Dichas etapas surgen a medida que se fueron detectando nuevas necesidades de información, en función de los diferentes resultados logrados en los análisis de cada una de ellas.

2 OBTENCIÓN DE LOS DATOS

El proceso de obtención de los datos se desarrolla en cuatro etapas. A continuación se pormenoriza cada una de ellas.

2.1 Primera etapa

Esta etapa se inicia mediante una instancia realizada al Vicerrectorado de Títulos, Calidad y Nuevas Tecnologías de la UDC. Se solicita la información de tipo académico que se almacena en los archivos de la Universidad sobre los estudiantes que se han matriculado en las titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial, especialidades Electricidad y Electrónica Industrial. La muestra abarca desde el inicio del plan de estudios [89] hasta la finalización de éste, período comprendido entre los cursos 1996/1997 y 2009/2010, ambos incluidos. En concreto se solicitan los siguientes datos:

- Nota de acceso a cada titulación.
- Vía de acceso (Bachillerato, Formación Profesional y otras vías).
- Calificaciones de las materias cursadas.
- Materias optativas que cursa cada estudiante.
- Tiempo que invierte el estudiante en rematar los estudios.

Como respuesta a esta consulta se reciben los datos académicos de 2001 estudiantes, con la información que se presenta, a modo de ejemplo, en la Tabla 1 y en la Tabla 2.

Curso	Código estudiante	Modalidad de matrícula	Código materia	Materia	Carácter	Créditos	Convocatoria	Calificación
2000/2001	162604	1M	770511107	Estadística	TR	6	ST	NP
2000/2001	162604	1M	770511108	Química	OB	6	F/X	MH
2002/2003	162604	CN	770511102	Matemáticas I	TR	12	DEC	NT
2001/2002	162604	CN	770511201	Electrometría	TR	3	F/X	NT
2001/2002	162604	CN	770511503	Ampliación de Química	OP	4,5	F/X	NT
2001/2002	162604	CN	770511204	Regulación Automática	TR	7,5	F/X	NP
2002/2003	162604	CN	770511304	Oficina Técnica	TR	9	F/X	AP

Tabla 1. Datos académicos de los estudiantes, 1ª etapa.

Siendo:

- 1M/CN: 1ª matrícula/Continuación estudios.
- OB/TR: Obligatoria/Troncal.
- F/X: Convocatoria final de junio.
- DEC: Convocatoria de diciembre.
- SET: Convocatoria de septiembre.
- NP: No presentado.
- AP: Aprobado.
- NT: Notable.
- MH: Matrícula de honor.

Código estudiante	Cód. Estudio	Vía de acceso	Nota de Acceso
162561	770511V01	PAU	5,57
164206	770511V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	Apto
164214	770511V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	
164223	770511V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	
164237	770511V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	
164251	770611V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	
164288	770611V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	
164304	770511V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	
164322	770611V01	Bachillerato LOGSE y Selectividad	

Tabla 2. Vías de acceso a la Universidad de los estudiantes, 1ª etapa.

Siendo:

- PAU: Pruebas de acceso a la universidad.
- LOGSE: Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo [90] .

Tal como figura en la Tabla 1 y en la Tabla 2, en todo momento, el estudiantado ha sido identificado mediante un código numérico para mantener la privacidad de la información, y garantizar el cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal [91].

2.2 Segunda etapa

A la vista del resultado del análisis de la información obtenida en la primera etapa, tras varias conversaciones con el Vicerrectorado de Títulos, Calidad y Nuevas Tecnologías para analizar la posibilidad de completar los datos necesarios para el

trabajo a realizar, se consiguen los datos académicos de 2.736 estudiantes con la siguiente información:

- Género.
- Forma de acceso y nota.
- Edad de inicio de los estudios.
- Edad de finalización de la carrera.
- Número de cursos empleados en rematar la titulación.
- Nota media al finalizar la titulación.
- Procedencia geográfica.

En la Tabla 3 y en la Tabla 4, se indica una parte de la información tal como se obtiene en el formato original, a modo de ejemplo.

Cód. estudiante	Género	Forma de admisión	Calificación	Curso de Matrícula inicial	Edad de Primera matrícula	Curso de finalización
812570	Mujer	PAU	5,85	1997/1998	20	2003/2004
812805	Hombre	PAU		2001/2002	19	2005/2006
813020	Hombre			2000/2001	15	2004/2005
813465	Hombre	PAU		2006/2007	19	
813700	Hombre	PAU	5,87	1997/1998	22	2005/2006
813815	Hombre	Formación Profesional	8,18	2002/2003	21	2012/2013
814175	Hombre	PAU		2006/2007	56	
821030	Hombre	PAU	6,98	2007/2008	19	2012/2013
821070	Hombre	PAU	5,64	2007/2008	22	

Tabla 3. Datos académicos de los estudiantes, 2ª etapa.

Código estudiante	Titulado	Edad titulado	Media penalizada	Localidad de origen
812570	S	26	1,0572	Ferrol
812805	S	23	1,3398	A Baña
813020	N			Narón
813465	S	30	1,0981	Betanzos
813700	S	31	1,5848	Aranga
813815	N			Fene
814175	S	24	1,2024	Laracha
821030	N			A Coruña
821070	S	25	1,3742	Lugo
821115	N			Ferrol

Tabla 4. Datos académicos de los estudiantes, 2ª etapa (continuación).

2.3 Tercera etapa

Una vez analizada la información de las dos primeras etapas, se decide realizar una consulta más precisa para obtener los datos que permitan el estudio descriptivo y de correlación entre las calificaciones de las materias que cursa cada estudiante.

Se procede, en esta etapa, a la consulta individual del expediente académico de cada estudiante y se consiguen los registros de 1.167 estudiantes de Ingeniería Técnica Industrial, matriculados entre los cursos 2001/2002 y 2008/2009. Se descartan los primeros cursos del plan de estudios, hasta el 2001/2002, porque no figuran las calificaciones numéricas en los expedientes académicos y, el último curso (2009/2010), porque en el momento de la consulta (curso 2013/2014), todavía hay estudiantes concurriendo a los exámenes de las titulaciones de Ingeniería Técnica, en período de extinción. Se obtienen los siguientes datos:

- Nota de acceso a la titulación.
- Materias cursadas por cada estudiante.
- Calificaciones de cada materia.
- Nota media al finalizar los estudios.
- Duración real de los estudios, incluyendo el Proyecto Fin de Carrera.

En la Ilustración 1 se muestra, a modo de ejemplo, parte de la información tal como se obtiene del expediente académico de cada estudiante.

En la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, a modo de ejemplos, se indican parcialmente los datos manejados en el estudio de esta etapa. Se incluyen las calificaciones de todas las materias que cursa cada estudiante, sin tener en cuenta la convocatoria en la cual se aprueban las asignaturas.

Contidos										
Código	Contido	Cr	Co	Med	Cal	Nº	MNº	C	Ef	Ano
Primeiro Curso										
770511101	Física	TR	F/X	12.0	AP	1	1	OR	03/04	
770511102	Matemáticas I	TR	ST	12.0	AP (5.0)	5	1	OR	08/09	
770511103	Teoría de Circuitos	TR	F/X	9.0	AP (5.0)	3	1	OR	05/06	
770511104	Fundamentos de Informática	TR	ST	6.0	NT (7.4)	1	2	OR	03/04	
770511105	Expresión Gráfica	TR	F/X	7.5	AP	1	1	OR	03/04	
770511107	Estadística	TR	ST	6.0	AP (5.0)	2	3	OR	04/05	
770511108	Química	OB	F/X	6.0	NT	1	1	OR	03/04	
770511116	Materiais Eléctricos e Magnéticos	TR	F/X	4.5	AP	1	1	OR	03/04	
770511120	Teoría de Mecanismos e Estruturas	TR	F/X	6.0	AP	1	1	OR	03/04	
Segundo Curso										
770511201	Electrometria	TR	ST	3.0	AP (5.0)	3	3	OR	06/07	
770511202	Electrónica Industrial	TR	F/X	10.5	AP (5.3)	3	1	OR	06/07	
770511203	Instalacións Eléctricas	TR	F/X	10.5	AP (6.5)	1	1	OR	04/05	
770511204	Regulación Automática	TR	2C	7.5	AP (5.0)	4	3	OR	08/09	
770511206	Máquinas Eléctricas I	TR	DEC	4.5	AP (5.0)	4	2	OR	07/08	
770511207	Circuitos Eléctricos	OB	ST	6.0	AP (5.1)	2	2	OR	05/06	
770511208	Programacion Industrial	OB	ST	6.0	AP (6.1)	1	2	OR	04/05	
770511209	Matemáticas II	OB	ST	6.0	AP (5.0)	2	2	OR	05/06	
770511210	Mecánica de Fluidos e Termodinámica	OB	DEC	6.5	AP (5.0)	3	1	OR	06/07	

Ilustración 1. Información del expediente académico.

Primer curso										
Código estudiante	Vía de acceso	Física	Matemáticas I	Teoría de Circuitos	Fundamentos de Informática	Expresión Gráfica	Estadística	Química	Materiales Eléctricos y Magnéticos	Teoría de Mecanismos y Estructuras
22002	BACH.	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	9	7,5	5,5
32002	BACH.	7,5	5,5	5,5	5,5	5,5	7,5	9	9	5,5
52002	BACH.	5	5,5	6	5,5	7	5	7,5	5,5	5,5
62002	BACH.	7,5	5,5	5,5	5,5	5,5	7,5	5,5	7,5	5,5
82002	BACH.	5,5	5	5	5,5	5,5	5	5,5	5	5
112002	BACH.	5,5	5,5	8	8,4	5	5,5	5,5	7,5	5
132002	BACH.	5,5	7,5	5,5	5,5	5,5	5,5	7,5	5,5	5,5
162002	BACH.	8	5,5	5,5	5,5	7,5	5,5	5,5	5,5	5
172002	BACH.	5,5	5,5	7,5	7,5	5,5	5,5	7,5	7,5	5,5
182002	BACH.	7,3	7,5	5,5	7,5	5,5	5,5	7,5	5,5	5

Tabla 5. Datos de la tercera etapa, primer curso.

Segundo curso									
Código estudiante	Electrometría	Electrónica Industrial	Instalaciones Eléctricas	Regulación Automática	Máquinas Eléctricas I	Circuitos Eléctricos	Programación Industrial	Matemáticas II	Mecánica de Fluidos y Termodinámica
22002	6	7,5	6	5,8	5,1	5	6	7,5	6,5
32002	7	7,5	5,5	5	5,8	6	5,5	7,5	5,5
52002	5	5	7	5	5,3	5	5,4	5	6,3
62002	5	7,7	5,5	5	5,5	5,5	7,5	7,5	5,5
82002	5	6,5	5	5	5	7	6	5,5	5,3
112002	5,7	5,7	7	5	5	5	5,8	5,8	8,4
132002	7	5,5	6,5	5	5	6	5,3	5,5	5
162002	5	5,5	5,5	5,1	5,8	9	6,4	5,5	7
172002	7	7,5	5,5	6,1	5,5	5,5	5,5	7,5	5,5
182002	5	5	7	7,5	5,3	9	5,8	7,5	6,3

Tabla 6. Datos de la tercera etapa, segundo curso.

28

Tercer curso								
Código estudiante	Transporte de Energía Eléctrica	Centrales Eléctricas	Máquinas Eléctricas II	Oficina Técnica	Administración de Empresas y Organización Industrial	Aplicación de Máquinas Eléctricas	Construcción Industrial	Proyecto Fin de Carrera
22002	5	6,5	5,8	7	7	5	7	6,5
32002	10	5,5	6,9	6,3	6,5	6,2	7	7,1
52002	7,5	6	5,3	5,6	5,3	5	6	7,2
62002	5	7	5,8	6,3	6	7,2	7	7
82002	8,3	6	5,8	5,2	5,9	5,2	6,2	7,1
112002	5	7	5,2	5,6	6,3	5	7,3	6,6
132002	6,2	5,8	5	5,7	5	6,7	7	7
162002	7,5	6,3	7,1	5,5	5	6,6	7	8,4
172002	10	6	6,3	7,2	6	7,2	7	8,2
182002	5	6	5	5,8	6,5	5,1	8	6,5

Tabla 7. Datos de la tercera etapa, tercer curso.

2.4 Cuarta etapa

Dado que los coeficientes de correlación que se obtienen en el estudio con los datos utilizados en la tercera etapa son en general bajos o muy bajos [92], [93], en esta cuarta etapa, se incorporan las calificaciones de cada materia cursada por los estudiantes penalizadas⁶ según la convocatoria [94] en la que se supera la asignatura. El objetivo es comprobar cómo influye, en los coeficientes de correlación, el número de convocatorias utilizadas en cada materia para aprobarla. Para el análisis de esta etapa se utilizan los datos de los mismos estudiantes que en la tercera etapa.

En la Tabla 8 se muestra, a modo de ejemplo, parte de los datos utilizados en el estudio de esta etapa. Se incluyen las calificaciones de todas las materias que cursa cada estudiante, penalizadas según la convocatoria en la cual se aprueban las asignaturas. Además, se indican las convocatorias agotadas en cada materia.

Código del estudiante	Materias								
	Física			Matemáticas I			Teoría de circuitos		
	Calif.	Nº C.	Calificación Ponderada M.E.C.	Calif.	Nº C.	Calificación Ponderada M.E.C.	Calif.	Nº C.	Calificación Ponderada M.E.C.
32001E	7,5	1	7,5	9	2	8,8	5,5	3	5,1
52001E	7,5	1	7,5	7,5	1	7,5	9	1	9
62001E	5,5	1	5,5	5,5	3	5,1	7,5	3	7,1
82001E	5,4	5	4,6	5,5	4	4,7	5	5	4,2
92001E	5,5	1	5,5	5,5	1	5,5	7,5	1	7,5
102001E	5,5	1	5,5	7,5	1	7,5	5,5	2	5,3
122001E	5,5	1	5,5	5,6	3	5,2	5	5	4,2
132001E	5,5	2	5,3	7,5	2	7,3	5,5	3	5,1
142001E	5,5	1	5,5	7,5	1	7,5	5,5	2	5,3
182001E	7,5	1	7,5	7,5	1	7,5	5,5	1	5,5

Tabla 8. Datos de la cuarta etapa, calificaciones penalizadas según convocatoria.

⁶ Se calcula la calificación de cada materia, penalizada según la convocatoria en la que se supera. Se aplica lo especificado en la "Guía para la declaración de nota media de estudios en España, publicada por el Ministerio de Educación [94]"

- 1ª convocatoria sin penalización
- 2ª convocatoria penalización de -0,20
- 3ª convocatoria penalización de -0,40
- 4ª convocatoria o superiores penalización de -0,80

*Capítulo 4. Métodos para análisis
preliminares*

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se indican los métodos y herramientas utilizados para el análisis descriptivo de los datos.

2 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Las tablas de frecuencias y los histogramas se utilizan para extraer e interpretar la información relativa a los datos obtenidos en la segunda etapa, tal como se explica a continuación.

2.1 Tablas de frecuencias

Se utilizan las tablas de frecuencias para analizar los datos, relativos a edad de inicio de los estudios, edad de finalización de la titulación y número de cursos empleados en realizar la carrera.

Una vez recopilada la información se procede a la elaboración de la tabla de frecuencias, en la que se utilizan una serie de conceptos generales [95] que se mencionan a continuación:

- Frecuencia absoluta n_i : se denomina frecuencia absoluta del valor x_i de la variable X , el número de veces n_i que se repite ese valor.
- Frecuencia absoluta acumulada N_i : se denomina frecuencia absoluta acumulada del valor x_i a la suma de las frecuencias absolutas de los valores de la variable X anteriores o iguales a x_i .
- Frecuencia relativa f_i : se denomina frecuencia relativa del valor x_i de la variable X , la relación por cociente entre el número de veces que aparece el valor x_i y el número total de valores de la variable (N). Es decir $f_i = n_i/N$.
- Frecuencia relativa acumulada F_i : es la frecuencia absoluta acumulada dividida por el número total de valores de la variable. Su valor es $F_i = N_i/N$.

La tabla de frecuencias se presenta con la información que figura en la Tabla 9:

X_i	n_i	N	f_i	F_i
x_1	n_1	$N_1 = n_1$	$f_1 = n_1/N$	$F_1 = N_1/N$
x_2	n_2	$N_2 = n_1 + n_2$	$f_2 = n_2/N$	$F_2 = N_2/N$
x_3	n_3	$N_3 = n_1 + n_2 + n_3$	$f_3 = n_3/N$	$F_3 = N_3/N$
.
.
.
x_k	n_k	$N_k = n_1 + \dots + n_k = N$	$f_k = n_k/N$	$F_k = N_k/N = 1$
	$\sum n_i = N$		$\sum f_i = 1$	

Tabla 9. Tabla de frecuencias.

2.2 Histogramas

Un histograma es una representación gráfica de un conjunto de valores observados de una variable cuantitativa continua [96]. Para realizar el histograma, en el eje de abscisas se representan los valores tomados de la variable estudiada, agrupados en tramos, y sobre cada tramo se levanta un rectángulo de altura proporcional a la frecuencia absoluta de los valores observados.

A modo de ejemplo, en la Ilustración 2 se representa el histograma con la edad de ingreso de los estudiantes en la Universidad.

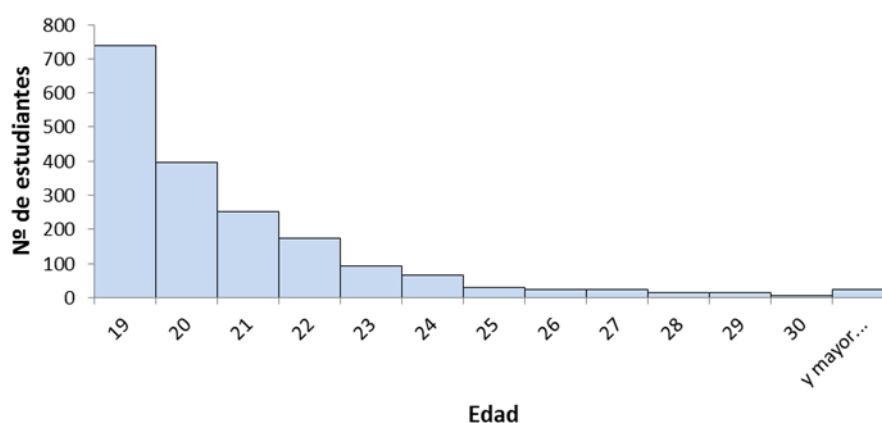


Ilustración 2. Edad de ingreso de los estudiantes en la Universidad.

3 MEDIDAS ESTADÍSTICAS

Una vez obtenidos los datos de la tercera etapa, relativos a las calificaciones de los estudiantes en cada materia, para conocer las características de las variables en estudio se utilizan las medidas estadísticas que se detallan a continuación.

3.1 Medidas estadísticas de posición

Las medidas estadísticas de posición tienen como objetivo encontrar valores que sintetizen las distribuciones de frecuencias [95]. A continuación, se detallan las medidas de posición utilizadas, que son: la media, la mediana y la moda.

3.1.1 Media

La media aritmética, representada por \bar{x} , es la suma de todos los valores de la distribución dividida por el número total de datos [95] y se define según la Ecuación 1.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k x_i n_i$$

Ecuación 1. Media aritmética

En donde:

- x_i es el valor de la variable.
- n_i es la frecuencia absoluta de variable.
- N es el número de datos.

3.1.2 Mediana

La mediana es el valor de la distribución que, ordenadas las observaciones en orden creciente o decreciente, deja a ambos lados del mismo igual número de observaciones [97]. Se representa por Me .

Si el número de observaciones es un número impar y están ordenadas en orden creciente, la mediana es la observación que ocupa el lugar central y viene dada por la Ecuación 2.

$$Me_x = \frac{x_{N+1}}{2}$$

Ecuación 2. Mediana para un número de observaciones impar.

Si el número de observaciones es par y las observaciones están ordenadas, la mediana es la media de las dos observaciones que ocupan los lugares centrales y se define mediante la Ecuación 3.

$$Me_x = \frac{\frac{x_N}{2} + \frac{x_{N+1}}{2}}{2}$$

Ecuación 3. Mediana para un número par de observaciones.

3.1.3 Moda

La moda es el valor o valores de la variable que más veces se repite [97] y se representa por Mo .

3.2 Medidas estadísticas de dispersión

Las medidas estadísticas de dispersión cuantifican la separación de las observaciones entre sí y con respecto al promedio que se supone las representa [97]. Seguidamente, se detallan las medidas de dispersión empleadas, que son: el rango, la varianza y la desviación típica.

3.2.1 El rango

El rango, representado por R , de un conjunto de observaciones de una variable X es la diferencia entre el mayor (M) y el menor (m) valor de los observados [97] y viene dado por la Ecuación 4.

$$R = x_M - x_m$$

Ecuación 4. Rango de un conjunto de observaciones.

3.2.2 Varianza

La varianza es la media aritmética de los cuadrados de las desviaciones de los datos respecto a su media [96]. Se representa por S^2 y se calcula mediante la Ecuación 5.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

Ecuación 5. Varianza

3.2.3 Desviación típica

La desviación típica es la raíz cuadrada positiva de la varianza [96], se representa por S y viene dada por la Ecuación 6.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Ecuación 6. Desviación típica

3.3 Medidas estadísticas de forma

Se utilizan con el objetivo de comparar la forma que tiene la representación gráfica con la distribución normal⁷ y complementar la información que proporcionan las medidas de posición y dispersión [97]. A continuación se explican las medidas de asimetría y curtosis empleadas.

3.3.1 Medidas de asimetría

Se utilizan para medir el grado de asimetría de una distribución con respecto a un valor central, normalmente, la media aritmética o la mediana [98]. Cuando la variable es continua, la mediana divide al histograma de frecuencias en dos partes de igual área. Se considera que existe simetría cuando se cumple que las dos partes del histograma son simétricas respecto a la mediana, ver Ilustración 3 [99].

⁷ La representación gráfica de la distribución normal es una campana (campana de Gauss) que se caracteriza por ser simétrica respecto al eje de abscisas. El coeficiente de curtosis de este tipo de distribuciones es nulo.

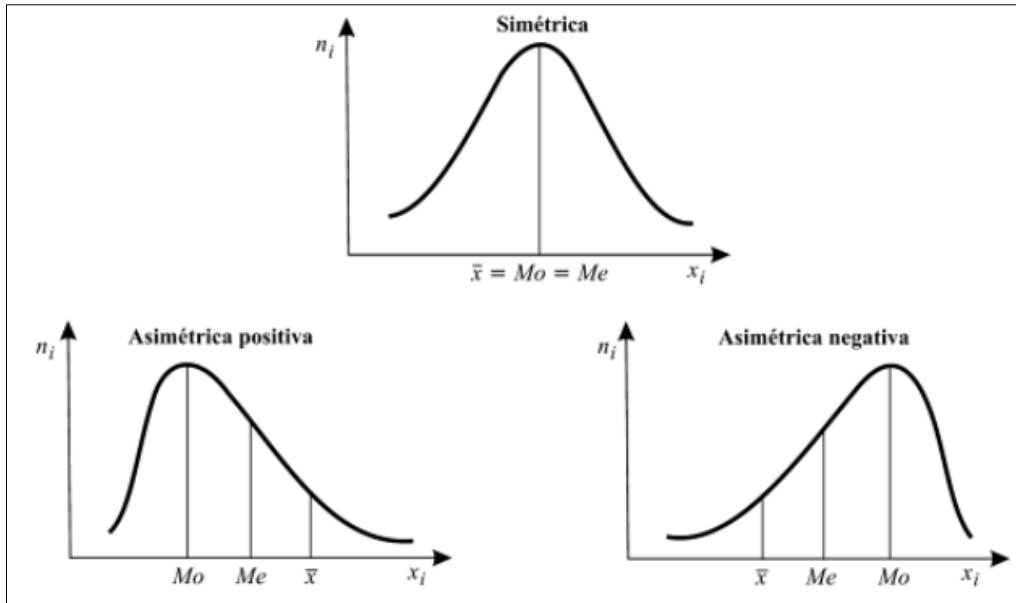


Ilustración 3. Medidas de asimetría

Para cuantificar la asimetría se utiliza el primer coeficiente de Fisher (g_1) y se calcula mediante la Ecuación 7 [95].

$$g_1 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^3 n_i}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i \right)^{3/2}}$$

Ecuación 7. Coeficiente de asimetría de Fisher.

- Si $g_1 = 0$, la distribución es simétrica.
- Si $g_1 > 0$, la distribución es asimétrica positiva.
- Si $g_1 < 0$, la distribución es asimétrica negativa.

3.3.2 Medidas de curtosis

Es el grado de apuntamiento, o deformación en sentido vertical, de la distribución de frecuencias con respecto a una distribución tipo [97]. El modelo que se toma como referencia es la distribución normal. Las medidas de curtosis sirven para medir la mayor o menor concentración de datos alrededor de su media. A mayor concentración alrededor de la media la distribución es más apuntada [100]

Una distribución puede ser más apuntada de lo normal (leptocúrtica), o menos apuntada (platicúrtica). A la distribución normal, desde el punto de vista de la curtosis, se le denomina mesocúrtica. Ver Ilustración 4 [99].

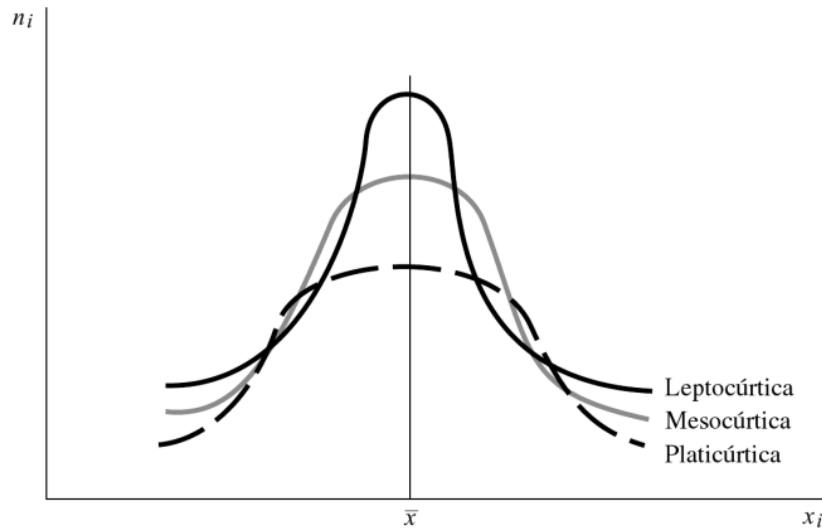


Ilustración 4. Tipos de curtosis.

Para medir la curtosis de una distribución se utiliza el segundo coeficiente de Fisher (g_2) y se obtiene según la Ecuación 8 [95].

$$g_2 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^4 n_i}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_i \right)^2} - 3$$

Ecuación 8. Coeficiente de curtosis.

- Si $g_2 = 0$, la distribución es mesocúrtica.
- Si $g_2 > 0$, la distribución es leptocúrtica.
- Si $g_2 < 0$, la distribución es platicúrtica.

4 VALORES ATÍPICOS Y DIAGRAMAS DE CAJA

Dado que para la detección de los valores atípicos y su representación mediante los diagramas de caja se utilizan como referencia los cuartiles, se detalla a continuación cuál es su significado.

4.1 Cuartiles

Los cuartiles, representados por Q_1 , Q_2 y Q_3 , son los tres valores de la variable que dividen a la distribución en cuatro partes iguales, que son cuatro intervalos tales que dentro de cada uno de ellos se encuentra, aproximadamente, el 25 % de los datos.

4.1.1 Recorrido intercuartílico

El recorrido intercuartílico, representado por R_Q , es la diferencia entre el mayor y el menor cuartil y se define según la Ecuación 9.

$$R_Q = Q_3 - Q_1$$

Ecuación 9. Recorrido intercuartílico.

Siendo Q_1 el primer cuartil y Q_3 el tercer cuartil.

4.2 Valores atípicos y extremos

Los valores atípicos u “outliers” son los que se alejan significativamente del resto de las observaciones [97].

En una distribución de frecuencias de una variable se consideran atípicos u “outliers” aquellos valores inferiores al primer cuartil menos 1,5 veces el recorrido intercuartílico ($xi < Q_1 - 1,5R_Q$) o superiores al tercer cuartil más 1,5 veces dicho recorrido ($xi > Q_3 + 1,5R_Q$). A los valores alejados más de $3 R_Q$ desde el tercer cuartil Q_3 para el extremo superior o $3 R_Q$ desde el cuartil Q_1 para el extremo inferior, se les denomina valores extremos, ver Ilustración 6 [101].

Los datos atípicos, una vez identificados, deben verificarse para encontrar las causas de su aparición y analizarlos [102]. En el software estadístico SPSS los valores atípicos se representan por un (°) y los valores extremos por un (*), tal como se muestra en la Ilustración 5.

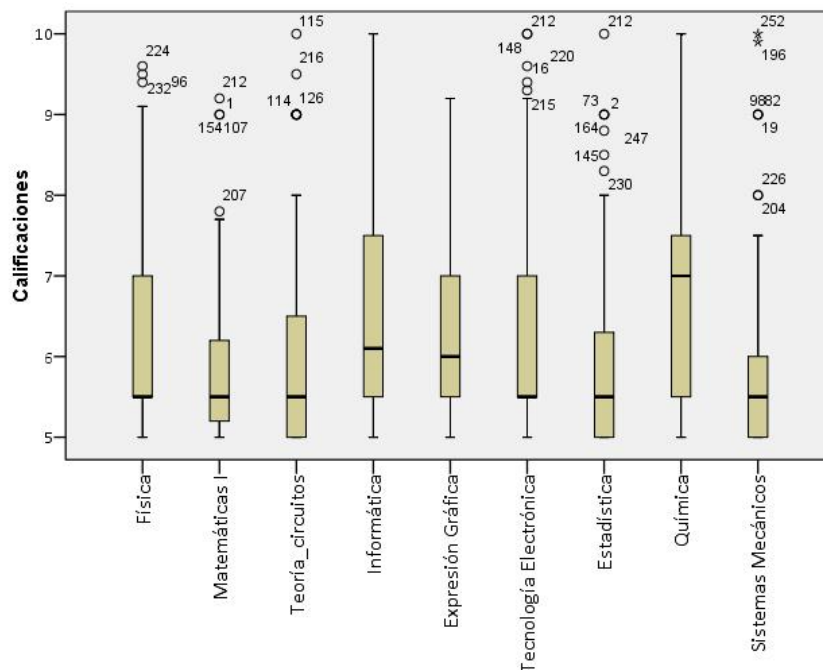


Ilustración 5. Ejemplo de identificación de valores atípicos y extremos.

4.3 Diagramas de caja o boxplot

Para la identificación de valores atípicos se utiliza el diagrama de caja o diagrama de caja y bigotes, también denominado boxplot. Es una representación gráfica que refleja cinco estadísticos de la muestra: los valores mínimo y máximo, y los tres cuartiles [103].

Este gráfico se dibuja sobre un segmento cuyos extremos son los valores, mínimo y máximo, de la variable de la muestra dada y consta de una caja, o rectángulo, dividida en dos por una línea horizontal y dos segmentos a cada lado que se conocen como bigotes. El extremo del bigote inferior representa el valor mínimo de la muestra, el lado inferior de la caja coincide con el primer cuartil " Q_1 ", la línea horizontal dibujada en el interior de la caja representa la mediana, el lado superior de la caja muestra el tercer cuartil " Q_3 " y el extremo del bigote superior coincide con el valor máximo de la muestra, ver Ilustración 6 [101].

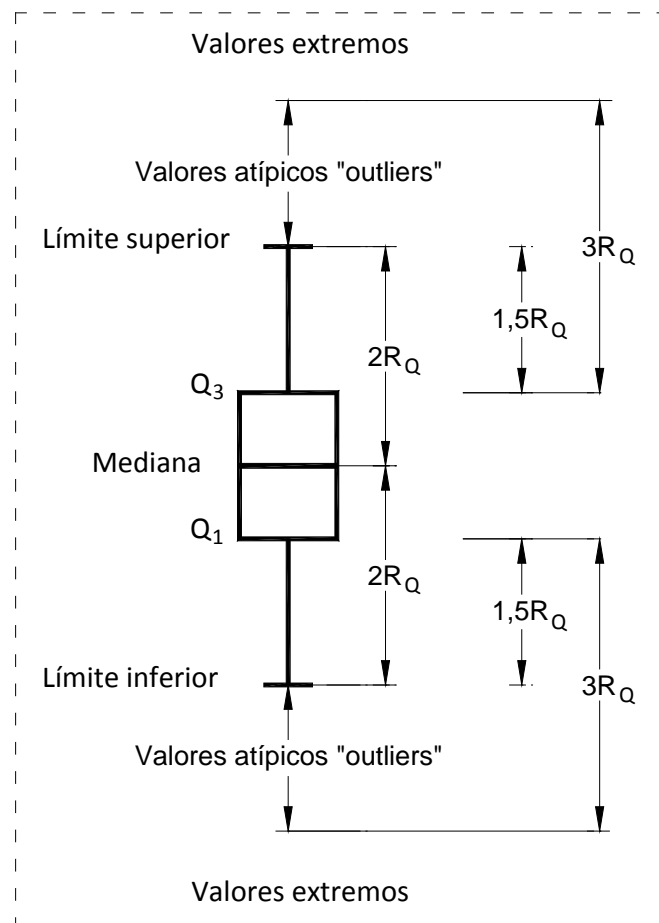


Ilustración 6. Diagrama de caja o boxplot.

En la Ilustración 6, R_Q representa el rango intercuartílico.

5 TEST DE NORMALIDAD

Dado que muchos procedimientos estadísticos únicamente son aplicables si los datos provienen de distribuciones normales, conviene comprobar si los datos observados cumplen o no la hipótesis de normalidad [104].

Para el tamaño de muestra que se maneja ($n > 30$) [105], se recomienda utilizar el test de Kolmogorov-Smirnov, que se basa en la comparación entre la función de distribución empírica de una muestra $F_n(x)$ y la función de distribución teórica $F(x)$ [106].

Para contrastar la hipótesis de que la muestra se ajusta a una distribución teórica $F(x)$, se calcula el estadístico de Kolmogorov-Smirnov (Ecuación 10), cuya distribución es conocida y está tabulada. Si la distancia calculada K_n es mayor que la encontrada en las tablas, para un nivel de significación α , se rechaza la distribución $F(x)$ para la muestra.

$$K_n = \max|F_n(x) - F(x)|$$

Ecuación 10. Estadístico de Kolmogorov-Smirnov.

Para calcular el estadístico de Kolmogorov-Smirnov, se utiliza el software estadístico SPSS, en el cual aparece programado dicho procedimiento y proporciona tanto el valor del test como el nivel de significación correspondiente.

*Capítulo 5. Métodos tradicionales
para estudio de correlaciones
aplicable al desarrollo de modelos*

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestra la explicación de los métodos y herramientas utilizados para el estudio de correlaciones entre las calificaciones y las convocatorias de las materias que componen cada plan de estudios.

1.1 Coeficiente de correlación de Pearson

Para calcular el grado de correlación entre las calificaciones y convocatorias de las materias cursadas por los estudiantes, se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson, representado por r_{xy} , es una medida adimensional del grado de relación existente entre dos variables [97] y viene definida por la Ecuación 11.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{NS_x S_y} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Ecuación 11. Coeficiente de correlación de Pearson

En donde:

- x_i, y_i son los valores de las variables.
- \bar{x}, \bar{y} son las medias aritméticas de las variables.
- N es el número de datos.
- S_x, S_y son las desviaciones típicas de las variables.
- S_{xy} es la covarianza.

1.1.1 Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente toma valores entre -1 y 1, siendo [107]:

- $r_{xy} = 1$ si, y solo si, entre las dos variables existe una relación lineal perfecta y directa o positiva.
- $r_{xy} = -1$ si, y solo si, entre las dos variables existe una relación lineal perfecta e inversa o negativa.
- $r_{xy} = 0$ si, y solo si, entre las dos variables no existe relación lineal.

Para valorar la intensidad de los índices de correlación, lo habitual es hacerlo calculando su significación estadística. El coeficiente de correlación de Pearson se puede considerar significativo, aceptando una determinada probabilidad de error, cuando es estadísticamente distinto de cero.

A efectos prácticos [92] y como orientación para valorar la intensidad del coeficiente de correlación, se puede tener presente lo especificado en la Tabla 10.

Coeficiente de correlación	Interpretación
De 0 a 0,20	Correlación prácticamente nula
De 0,21 a 0,40	Correlación baja
De 0,41 a 0,70	Correlación moderada
De 0,71 a 0,90	Correlación alta
De 0,91 a 1	Correlación muy alta

Tabla 10. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Otra forma de interpretar el coeficiente de correlación es mediante el coeficiente de determinación. El coeficiente de determinación, R^2 , representa el porcentaje de variabilidad de la variable dependiente que es explicada por la variable independiente [95]. Se calcula según la Ecuación 12.

$$R^2 = \frac{S_{xy}^2}{S_x^2 S_y^2}$$

Ecuación 12. Coeficiente de determinación.

Teniendo en cuenta la Ecuación 11 y la Ecuación 12, se comprueba que $R^2 = r_{xy}^2$. Su valor indica la proporción de varianza compartida entre las variables.

*Capítulo 6. Métodos avanzados de
regresión para desarrollo de modelos*

1 INTRODUCCIÓN

Dado que los análisis realizados en este trabajo, con métodos estadísticos, demuestran que las correlaciones entre las calificaciones de las distintas materias que componen los planes de estudios son bajas [92], [93], no es aconsejable realizar un estudio de regresión mediante técnicas estadísticas tradicionales porque no permitiría una predicción fiable de las calificaciones de unas materias a partir de las otras [108].

Por lo mencionado anteriormente, se decide ampliar el trabajo mediante el empleo de técnicas avanzadas, alternativas a las tradicionales utilizadas inicialmente en este estudio, que abren la posibilidad de obtener la predicción del rendimiento del estudiante a lo largo de su carrera.

2 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN

El diseño de los modelos de regresión utilizados en este trabajo se puede clasificar en dos tipos [109],[110]:

- Modelos globales: se genera un solo modelo con todos los datos de entrenamiento. El objetivo principal es minimizar el error en todos los patrones de entrada con el mismo modelo. Las técnicas utilizadas en este trabajo para generar los modelos son: Redes Neuronales Artificiales (RNA), Las Máquinas de Vectores Soporte (SVM) y la Regresión Polinomial.
- Modelos locales: la estrategia que propone el modelado por modelos locales [111], [112], consiste en dividir el conjunto de datos en subconjuntos, denominados clusters, dependiendo de las características de los datos de entrada. El algoritmo de agrupación que se utiliza en el presente trabajo es K-means. Una vez formados los clusters, se aplican a cada uno, las mismas técnicas utilizadas en el modelo global.

En este capítulo se detallan los métodos contemplados para el modelado del sistema.

3 TÉCNICAS DE REGRESIÓN APLICADAS TANTO A MODELOS GLOBALES COMO LOCALES

3.1 Redes neuronales artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son sistemas automáticos de aprendizaje formados por unidades de procesamiento, denominadas neuronas, interconectadas a través de enlaces, donde cada neurona calcula una función lógica, con entradas y pesos sinápticos que determinan la influencia de cada entrada en la activación de la neurona [113].

Una de las características diferenciales de las RNA es que pueden aprender de la experiencia a través de la generalización de casos [114]. Así, las RNA son sistemas adaptativos que aprenden de la experiencia, aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos. Mediante este entrenamiento o aprendizaje, las RNA crean su propia representación interna del problema y

posteriormente pueden responder adecuadamente cuando se les presentan situaciones a las que no habían sido expuestas con anterioridad, es decir, las RNA son capaces de generalizar de casos anteriores a casos nuevos [115].

3.1.1 Neurona artificial

Una neurona artificial es la unidad de procesamiento de información sobre la que se fundamenta la operación de una RNA [116].

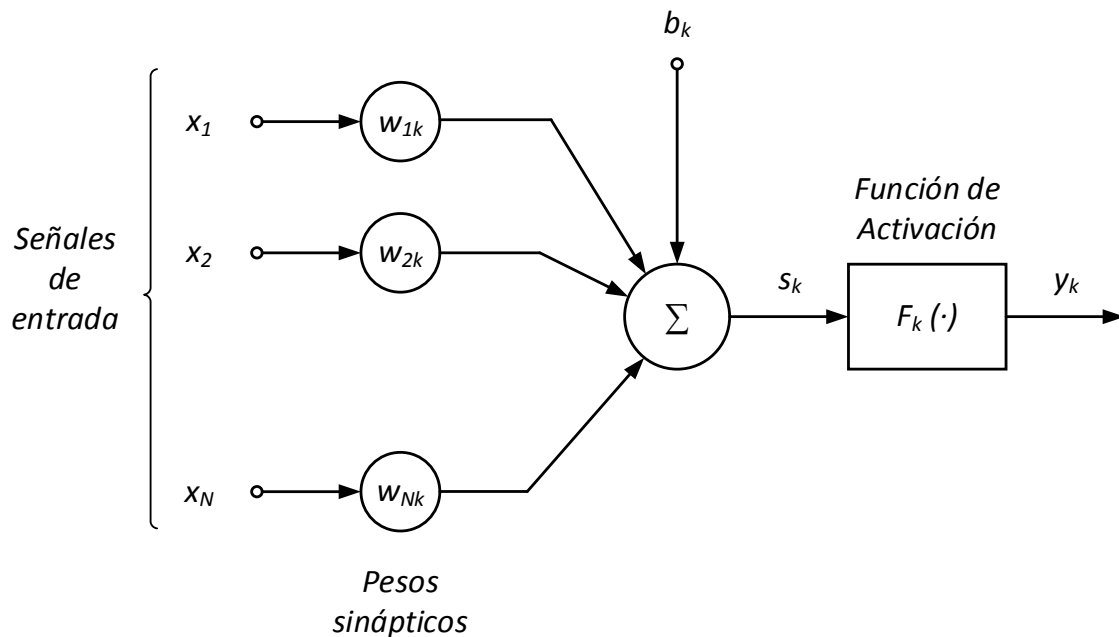


Ilustración 7. Modelo genérico de una neurona.

En la Ilustración 7 [116], se muestra el modelo genérico de una neurona (tener presente que puede haber k neuronas), en la que pueden distinguirse tres elementos característicos:

- Un conjunto de conexiones caracterizada cada una de ellas por un peso sináptico, de forma que la señal de entrada x_j , presente en la neurona k , se verá multiplicada por el peso sináptico w_{jk} .
- Una regla de propagación que determina la entrada efectiva o el nivel de excitación de la neurona k , denotada por s_k , a partir de todas las entradas individuales a la misma.
- Una función de activación, representada por $F_k(\cdot)$, que determina el estado o la salida y_k de la neurona a partir del nivel de excitación.

El modelo representado en la Ilustración 7, incluye una entrada externa adicional, denominada polarización o "bias" y representada por b_k , cuyo fin es el de poder aumentar o disminuir el umbral de excitación de la neurona.

Matemáticamente, el modelo básico de la neurona se puede definir según la Ecuación 13 y la Ecuación 14.

$$s_k = \sum_{j=1}^N w_{jk} x_j + b_k$$

Ecuación 13. Señal de entrada a la neurona artificial.

$$y_k = F_k(s_k)$$

Ecuación 14. Señal de salida de la neurona artificial.

La señal de salida se puede escribir en forma vectorial según la Ecuación 15, siendo $w_k = (b_k, w_{1k}, \dots, w_{jk}, \dots, w_{nk})^T$ el vector columna de pesos y $x = (x_1, \dots, x_N)^T$ el vector columna de entrada.

$$y_k = F_k(w_k^T x)$$

Ecuación 15. Señal de salida de la neurona en forma vectorial.

3.1.2 Tipos de función de activación

La función de activación define el nuevo estado o la salida de la neurona en los términos del nivel de excitación de la misma [117]. Los grados de activación de las neuronas artificiales suelen limitarse únicamente a dos o variar entre un rango de valores, normalmente definido entre $[0, 1]$ o entre $[-1, 1]$. Este valor indica el estado de la neurona: inactiva (0 o -1), activa (1), o bien un estado intermedio entre estos límites que indica su grado de activación.

Para obtener la salida final de una neurona se debe aplicar, a la entrada ponderada total, una función de activación que calcula el valor de salida o estado de actividad de la neurona.

Las neuronas de la capa de salida suelen utilizar funciones de activación identidad o función lineal, Ecuación 16, en las que la salida de la neurona coincide con la entrada de la misma.

$$y_k = F_k(s_k) = s_k$$

Ecuación 16. Función lineal.

En el resto de neuronas suelen utilizarse funciones no lineales. Aunque existe un gran número de funciones de activación diferentes, las de uso más común son la función sigmoideal y la función tangente hiperbólica [118]. Dichas funciones se caracterizan por el hecho de ser diferenciables y se definen según las expresiones indicadas en la Ecuación 17 y Ecuación 18.

$$y_k = F_k(s_k) = \frac{1}{1 + e^{-as_k}}$$

Ecuación 17. Función sigmoidal.

En el caso de la función sigmoidal, el rango de variación es el intervalo [0, 1], y el parámetro “a” es siempre positivo y controla la pendiente de la curva.

$$y_k = F_k(s_k) = \frac{1 - e^{-as_k}}{1 + e^{-as_k}}$$

Ecuación 18. Función tangente hiperbólica.

Para el caso de la función tangente hiperbólica, el rango de variación está comprendido entre [-1, 1].

Ambas son funciones crecientes con dos niveles de saturación: el máximo, que proporciona salida 1, y el mínimo, con salida 0 para la función sigmoidal, Ilustración 8, y salida -1 para la tangente hiperbólica, Ilustración 9.

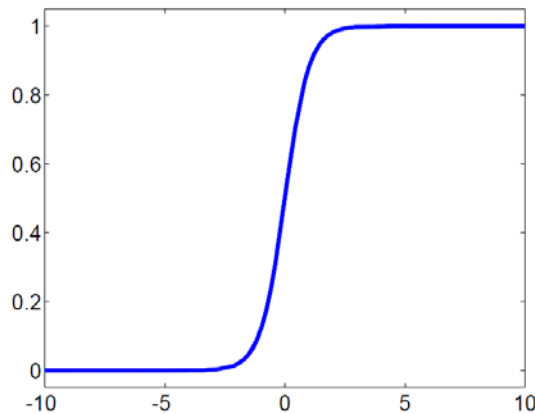


Ilustración 8. Función sigmoidal.

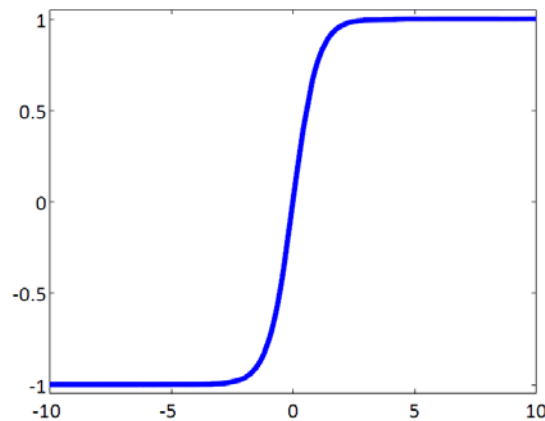


Ilustración 9. Función tangente hiperbólica.

3.1.3 Topologías o arquitecturas de red

La topología o arquitectura de una RNA está determinada por la organización de las neuronas, la disposición de las mismas y las conexiones existentes entre ellas. La arquitectura de una red depende de cuatro parámetros principales: el número de capas del sistema, el número de neuronas por capa, el grado de conectividad entre las neuronas y el tipo de conexiones neuronales [119].

La estructura básica de interconexión entre neuronas es la red multicapa, mostrada en la Ilustración 10 [120], se trata de una red completamente conectada, ya que todas las neuronas de cada una de las capas están totalmente conectadas.

Este tipo de RNA se organiza en varias capas: de entrada, intermedias u ocultas y de salida. Una capa es un conjunto de neuronas cuyas entradas de información provienen de una misma fuente, que puede ser otra capa de neuronas, y cuyas salidas de información se dirigen al mismo destino, que puede ser otra capa de neuronas. La capa de entrada es la encargada de capturar y transmitir las señales de entrada a las neuronas de la siguiente capa. Las capas intermedias distribuyen las señales hacia las siguientes capas intermedias, de haber varias, o, de haber solo una, hacia la capa de salida, que proporciona la respuesta de la red.

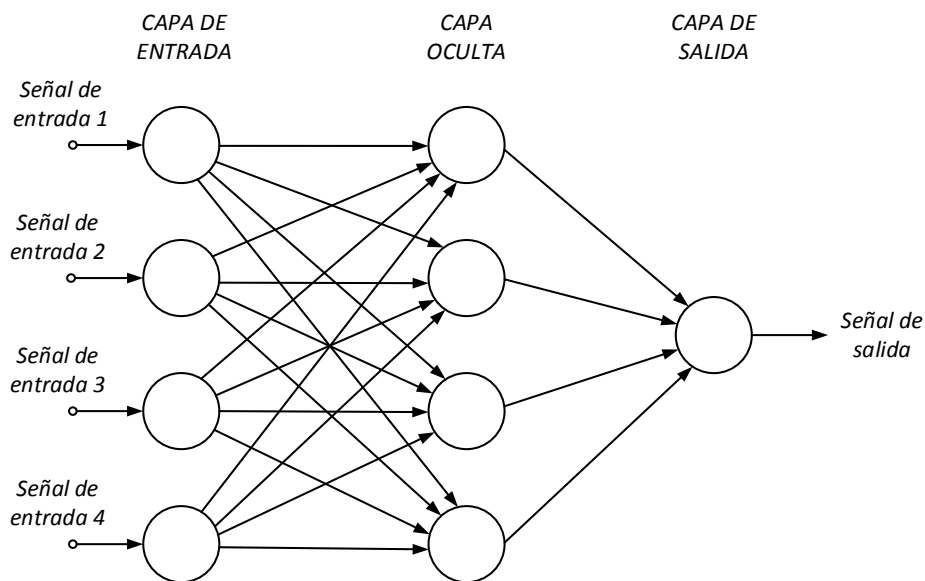


Ilustración 10. Estructura de una red neuronal multicapa.

La estructuración en capas incrementa notablemente el poder representativo, o capacidad para modelar una función específica, de las RNAs.

3.1.4 Aprendizaje

El aprendizaje de una red es el proceso mediante el cual los pesos sinápticos de una RNA se adaptan como consecuencia de un proceso de estimulación llevado a cabo por el entorno en el que opera la red [121]. El tipo de aprendizaje vendrá determinado por la forma en que cambie la configuración de la red.

Las RNAs necesitan ser entrenadas para poder ser utilizadas. Este proceso comienza con la asignación de valores a los pesos asociados a cada conexión y con la definición de los parámetros de aprendizaje utilizados. En general, los valores de la configuración inicial se eligen de forma aleatoria. Tras realizar dicha operación, se lleva cabo el entrenamiento de la red, lo cual conlleva la adaptación de estos pesos.

El ajuste de los pesos sinápticos entre las diferentes neuronas debe realizarse de acuerdo con alguna regla de modificación o regla de aprendizaje. Se menciona aquí, por su importancia [116], la regla de Hebb [122]. La idea básica es que si dos neuronas j y k están activas simultáneamente, su interconexión debe ser fortalecida. Si la neurona k recibe como entrada la salida de la neurona j , en su versión más sencilla, la regla de Hebb establece que el peso sináptico w_{jk} debe modificarse de acuerdo con la Ecuación 19.

$$\Delta w_{jk} = \eta y_j y_k$$

Ecuación 19. Regla de Hebb.

Siendo:

- η una constante proporcional positiva que se denomina tasa de aprendizaje.

Según [120] se deben considerar cinco tipos básicos de reglas de aprendizaje: aprendizaje basado en el error, aprendizaje basado en memoria, aprendizaje Hebbiano, aprendizaje competitivo y aprendizaje de Boltzmann.

3.1.4.1 Tipos de aprendizaje

Se suelen considerar dos tipos de aprendizaje [123]:

- Aprendizaje supervisado. Requiere la presencia de pares de vectores de entrenamiento. Cada par está compuesto por los valores de entrada a la red y los valores de salida esperados para tales valores. El entrenamiento consiste en presentar un vector de entrada a la red, calcular la salida de la red, compararla con la salida deseada, y el error o diferencia resultante se utiliza para realimentar la red y cambiar los pesos de acuerdo con un algoritmo que tiende a minimizar el error. En este caso es necesario que el entrenamiento de la red sea controlado por un supervisor. Entre los modelos de RNA que utilizan este tipo de aprendizaje se pueden citar: MLP, RBF (Radial-Basis Function Network) y BAM (Bi-directional Associative Memory).
- Aprendizaje no supervisado. En este caso solamente se utilizan vectores de entrada para entrenar la red. Los valores de las salidas son determinadas por la red durante el aprendizaje sin la presencia de un supervisor. Algunos de los modelos que utilizan esta forma de aprendizaje son: SOM (Self-Organising Maps), PCA (Principal Components Analysis), Redes de Hopfield, Learning Vector Quantization, ART (Adaptative Resonance Theory) y FIR (Finite Impulse Response)

3.1.5 Perceptron Multicapa

De entre los diferentes modelos de RNA que existen, en este trabajo se ha utilizado el llamado Perceptron Multicapa (Multilayer Perceptron – MLP), por lo que en el presente apartado se describe dicha red neuronal artificial.

El MLP es el exponente más típico de la redes neuronales artificiales con aprendizaje supervisado [124]. Diferentes autores [125], [126] han demostrado, de forma independiente, que el MLP es un aproximador universal, en el sentido de que cualquier función continua en un espacio R^n puede aproximarse con un MLP, con tan solo una capa oculta de neuronas.

La habilidad del MLP para aprender a partir de un conjunto de ejemplos, aproximar relaciones no lineales, filtrar ruido en los datos, etc., hace que sea un modelo adecuado para abordar problemas reales [118] y se convierta en la RNA más conocida y utilizada en la práctica [127].

Según [128] el MLP es el tipo de RNA más utilizado para predecir patrones futuros de comportamiento en el ámbito educativo, trabajos como [129] utilizan un MLP para predecir el éxito o fracaso de estudiantes utilizando los datos de PISA⁸.

3.1.5.1 Arquitectura del Perceptron Multicapa

El MLP tiene una capa de entrada, una o más intermedias y otra de salida tal como se muestra en la Ilustración 11 [118]. Las neuronas de la capa de entrada se encargan únicamente de recibir las señales o patrones que proceden del exterior y propagar dichas señales a todas las neuronas de la siguiente capa. La última capa actúa como salida de la red, proporcionando al exterior la respuesta de la red para cada uno de los patrones de entrada.

La información se propaga de capa en capa, de izquierda a derecha, por medio de las conexiones entre las neuronas de cada capa. Las neuronas de las capas intermedias calculan la suma de los productos de los valores de las neuronas de entrada, y los valores de los pesos asociados a las conexiones entre ambas capas. Cada una de las neuronas de la capa intermedia utiliza esta suma para calcular el valor de una función sigmoideal.

⁸ PISA. Programme for International Student Assessment. Informe del Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes.

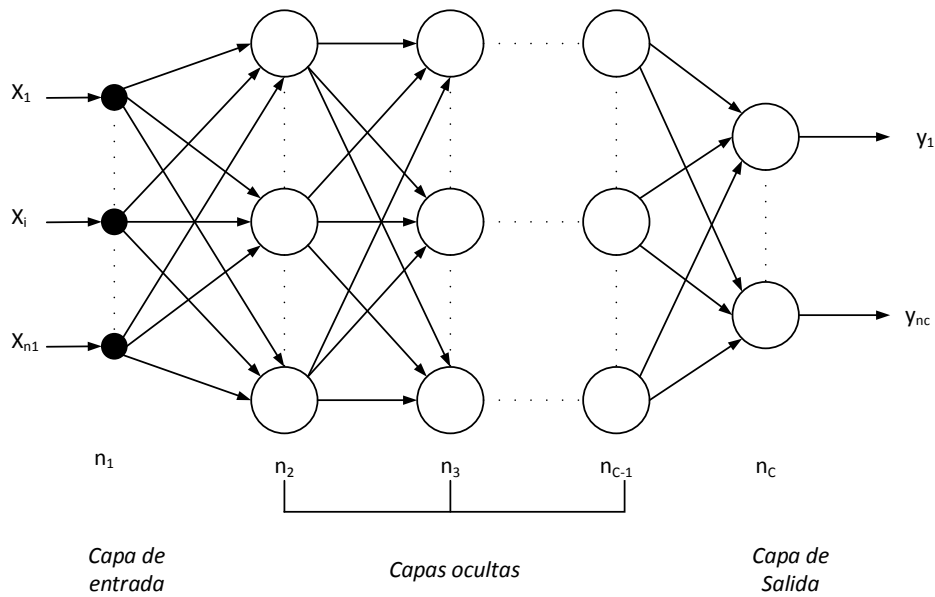


Ilustración 11. Arquitectura del Perceptrón Multicapa.

Las conexiones del MLP siempre están dirigidas hacia adelante, las neuronas de una capa siempre se conectan con las neuronas de la siguiente capa. Por esto último, reciben el nombre de redes alimentadas hacia adelante o redes “feedforward”. Las conexiones entre las neuronas llevan asociado un número real, llamado peso de la conexión.

3.1.5.2 Método de aprendizaje del MLP

El MLP utiliza un algoritmo de aprendizaje supervisado. La red crea un modelo a base de ajustar sus pesos en función de los vectores de entrenamiento, de forma que a medida que se pasan estos patrones para cada vector de entrada, la red producirá un valor de salida más similar al vector de salida esperado. Estas redes también se suelen denominar de retropropagación (backpropagation), nombre que reciben por el tipo de entrenamiento que utilizan [118].

Para explicar el método de aprendizaje del MLP se utiliza una red, Ilustración 12 [116], con una sola capa intermedia, sin que por ello suponga pérdida de generalidad, ya que el teorema de Aproximación Universal [125], [130], [131], [126], establece que todos los perceptrones tienen igual capacidad representativa, independientemente del número de capas intermedias que presenten.

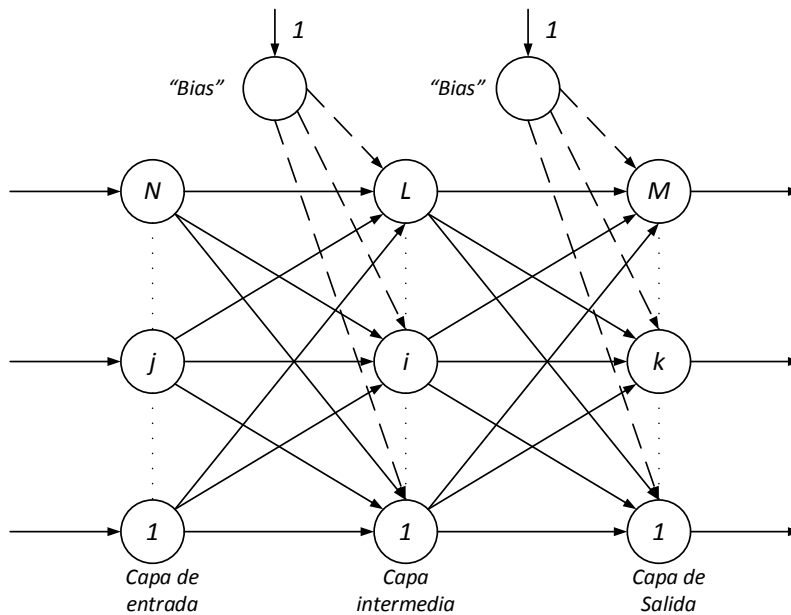


Ilustración 12. Método de aprendizaje MLP.

Se representa por $x^p = (x_1^p, x_2^p, \dots, x_N^p)^T$ al p-ésimo vector de entrada del conjunto de entrenamiento.

Se simboliza por $d^p = (d_1^p, d_2^p, \dots, d_N^p)^T$ al p-ésimo vector de salida esperado.

Se utiliza el subíndice i para designar las neuronas de la capa intermedia, y el subíndice k para designar las neuronas de la capa de salida.

Teniendo en cuenta la Ilustración 12, y suponiendo que el vector de entrada se propaga hacia la capa intermedia, para la neurona oculta i , el nivel de excitación s_i , ante el vector de entrada x^p , se establece según la Ecuación 20.

$$s_i^p = \sum_{j=1}^N w_{ji} x_j^p + b_i$$

Ecuación 20. Nivel de activación de la neurona s_i .

Siendo:

- N el número de entradas de la red.
- w_{ji} el valor del peso de la conexión entre la neurona j de la capa de entrada y la neurona i de la capa intermedia.
- b_i es el valor de las "bias" asociadas a la neurona i .

La salida de la neurona i , asumiendo que el estado de activación de la neurona i es función del vector de entrada a la red, viene dada por la Ecuación 21.

$$y_i^p = F_i(s_i^p)$$

Ecuación 21. Salida de la neurona i.

De la misma forma, para una neurona cualquiera k de la capa de salida, el nivel de activación viene determinada por la Ecuación 22 y la salida por la Ecuación 23.

$$s_k^p = \sum_{i=1}^L w_{ik} y_i^p + b_k$$

Ecuación 22. Nivel de activación de la neurona k.

$$y_k^p = F_k(s_k^p)$$

Ecuación 23. Salida de la neurona k.

Donde:

- L es el número de neuronas de la capa intermedia.
- W_{ik} el valor del peso de la conexión entre la neurona i de la capa intermedia y la neurona k de la capa de salida.
- b_k es el valor de las "bias" asociadas a la neurona k.

58

El valor inicial de los pesos se genera de forma aleatoria, por ejemplo con valores en el intervalo [-0.1, 0.1].

3.1.5.2.1 Actualización de los pesos que unen la capa intermedia con la de salida

La actualización de los pesos sinápticos se basa en la minimización del error cuadrático medio (Mean Square Error – MSE). Para ello se debe minimizar la función de error expresada en la Ecuación 24.

$$E^p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (d_k^p - y_k^p)^2$$

Ecuación 24. Función de error.

Siendo:

- $(d_k^p - y_k^p)$ el error de la salida presente en la neurona k para el p-ésimo patrón de entrenamiento. El factor $\frac{1}{2}$ se utiliza por conveniencia para calcular la derivada en operaciones posteriores.

Para minimizar la función de error se debe elegir la dirección hacia la cual deben modificarse los pesos de la capa de salida. La dirección elegida es la opuesta a la dirección del gradiente (o dirección de máxima variación) del error E^p con respecto a los pesos w_{ik} , y representado por ∇E^p . De esta forma, el cambio en el vector de pesos será proporcional en una constante o tasa de aprendizaje a la dirección opuesta del gradiente. A este método de minimización se le conoce como método de descenso del gradiente.

Considerando de forma separada cada uno de los componentes de ∇E^p (derivadas parciales de E^p respecto a w_{ik} , $\forall i$), puede escribirse la Ecuación 25.

$$\frac{\partial E^p}{\partial w_{ik}} = \frac{\partial E^p}{\partial s_k^p} \frac{\partial s_k^p}{\partial w_{ik}}$$

Ecuación 25. Expresión para calcular las derivadas parciales de E^p respecto a w_{ik} .

El valor de sensibilidad de la neurona de salida k-ésima ante un vector de entrada p, se define según la Ecuación 26.

$$\delta_k^p = -\frac{\partial E^p}{\partial s_k^p}$$

Ecuación 26. Sensibilidad de la neurona de salida k-ésima.

Teniendo en cuenta la Ecuación 24 y que las funciones de activación sean funciones diferenciables, la sensibilidad δ_k^p puede expresarse según la Ecuación 27.

$$\delta_k^p = (d_k^p - y_k^p) \frac{\partial F_k}{\partial s_k^p}$$

Ecuación 27. Valor de la sensibilidad de la neurona de salida k-ésima.

Si se representa la derivada parcial $\frac{\partial F_k}{\partial s_k^p}$ por F'_k , y teniendo en cuenta la Ecuación 22, se tiene que la salida de la neurona i se puede expresar según la Ecuación 28 y la Ecuación 29.

$$\frac{\partial s_k^p}{\partial w_{ik}} = \frac{\partial}{\partial w_{ik}} \left(\sum_{j=1}^L w_{jk} y_j^p + b_k \right) = y_i^p$$

Ecuación 28. Estado de activación de la neurona i.

$$\frac{\partial E^p}{\partial w_{ik}} = -(d_k^p - y_k^p)F'_k(s_k^p)y_i^p = -\delta_k^p y_i^p$$

Ecuación 29. Expresión para calcular la derivada parcial de E^p con respecto a w_{ik} .

Por tanto, si se considera que la modificación del vector de pesos es proporcional a la dirección contraria del gradiente, la regla para actualizar los pesos de la capa de salida viene dada por la Ecuación 30.

$$w_{ik}(t+1) = w_{ik}(t) + \Delta_p w_{ik}(t) + \mu(w_{ik}(t) - w_{ik}(t-1))$$

Ecuación 30. Regla de actualización de los pesos en la capa de salida.

Teniendo en cuenta que $\Delta_p w_{ik} = -\eta \frac{\partial E^p}{\partial w_{ik}} = \eta(d_k^p - y_k^p)F'_k(s_k^p)y_i^p = \eta\delta_k^p y_i^p$, la Ecuación 30 se puede escribir según se especifica en la Ecuación 31.

$$w_{ik}(t+1) = w_{ik}(t) + \eta\delta_k^p y_i^p + \mu(w_{ik}(t) - w_{ik}(t-1))$$

Ecuación 31. Expresión para calcular la actualización de los pesos en la capa de salida.

Dónde:

60

- η es la tasa de aprendizaje.
- μ es el momento. Para controlar las oscilaciones se utiliza una constante de momento μ , la cual determina el efecto en $t+1$ de los cambios de los pesos en el instante t . Con este momento se logra la convergencia de la red en menor número de iteraciones.

El valor de las "bias" se actualiza según la Ecuación 32.

$$b_k(t+1) = b_k(t) + \eta\delta_k^p y_i^p + \mu(b_k(t) - b_k(t-1))$$

Ecuación 32. Actualización de los pesos de la "bias".

3.1.5.2.2 Actualización de los pesos que unen la capa de entrada con la intermedia.

En este apartado se detalla cómo calcular la medida de error cometido en la salida de la capa intermedia. En el caso de la capa intermedia es posible conocer cuál es la salida proporcionada por las neuronas, pero no es posible conocer de antemano cuál es la salida correcta. Por tanto, lo que se hace es utilizar el error generado por la capa de salida como se indica en la Ecuación 33.

$$E^p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (d_k^p - y_k^p)^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (d_k^p - F_k(s_k^p))^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \left(d_k^p - F_k \left(\sum_{i=1}^L w_{ik} y_i^p + b_k \right) \right)^2$$

Ecuación 33. Expresión para calcular la función de error.

Como se muestra en la Ecuación 21, y_i^p determina el valor de salida de la capa intermedia, por tanto, el gradiente E^p con respecto a los pesos w_{ji} que unen la capa de entrada con la intermedia, se puede calcular según la Ecuación 34.

$$\frac{\partial E^p}{\partial w_{ji}} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \frac{\partial}{\partial w_{ji}} (d_k^p - y_k^p)^2 = - \sum_{k=1}^M (d_k^p - y_k^p) \frac{\partial y_k^p}{\partial s_k^p} \frac{\partial s_k^p}{\partial y_i^p} \frac{\partial y_i^p}{\partial s_i^p} \frac{\partial s_i^p}{\partial w_{ji}}$$

Ecuación 34. Expresión para calcular el gradiente E^p con respecto w_{ji} .

Cada uno de estos factores se puede calcular a partir de las ecuaciones mostradas en el apartado anterior y, si se tiene en cuenta la definición de δ_k^p , se obtiene la Ecuación 35.

$$\frac{\partial E^p}{\partial w_{ji}} = - \sum_{k=1}^M ((d_k^p - y_k^p) F'_k(s_k^p) w_{ik} F'_i(s_i^p) x_j^p) =$$

$$= - F'_i(s_i^p) x_j^p \sum_{k=1}^M ((d_k^p - y_k^p) F'_k(s_k^p) w_{ik}) = \left(F'_i(s_i^p) \sum_{k=1}^M w_{ik} \delta_k^p \right) x_j^p$$

Ecuación 35. Cálculo del gradiente E^p con relación a w_{ji} .

Teniendo en cuenta la Ecuación 35, puede definirse la sensibilidad δ_i^p de la i -ésima neurona de la capa intermedia como se muestra en la Ecuación 36.

$$\delta_i^p = F'_i(s_i^p) \sum_{k=1}^M w_{ik} \delta_k^p$$

Ecuación 36. Cálculo de la sensibilidad de la i -ésima neurona de la capa intermedia.

En este punto se pone de manifiesto la idea fundamental que yace debajo del método de entrenamiento utilizado por el MLP, denominado retropropagación (backpropagation). Este método se basa en distribuir el error apreciado en cada una de las neuronas de salida hacia todas las neuronas ocultas con las que están conectadas, para salvar el problema que supone no conocer el error presente en las neuronas ocultas.

De esta manera, los pesos de las conexiones que unen la capa de entrada con la intermedia w_{ji} se modificarán de acuerdo con la Ecuación 37.

$$\Delta_p w_{ji} = \eta \delta_i^p x_j^p = \eta \left(F_i'(s_i^p) \sum_{k=1}^M w_{ik} \delta_k^p \right) x_j^p$$

Ecuación 37. Modificación de los pesos entre capa de entrada y la capa intermedia.

Si además se contempla el término momento, la regla de adaptación de los pesos de la capa intermedia puede expresarse según la Ecuación 38.

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \eta \delta_i^p x_j^p + \mu (w_{ji}(t) - w_{ji}(t-1))$$

Ecuación 38. Regla de adaptación de los pesos en la capa intermedia.

Para las “bias” puede utilizarse el mismo procedimiento, tal como se indica en la Ecuación 39.

$$b_i(t+1) = b_i(t) + \eta \delta_i^p x_j^p + \mu (b_i(t) - b_i(t-1))$$

Ecuación 39. Adaptación de los pesos de las “bias”.

3.1.5.2.3 Resumen del método de aprendizaje

En este apartado se muestran todas las ecuaciones relevantes para el entrenamiento de un MLP con una capa intermedia, que utiliza aprendizaje con retropropagación. Las ecuaciones se presentan en el orden en que se deben ejecutar.

1. Presentar el vector de entrada $x^p = (x_1^p, x_2^p, \dots, x_N^p)^T$ en la capa de entrada.
2. Calcular el valor de los niveles de excitación de las neuronas de la capa intermedia, de acuerdo con la Ecuación 20.
3. Calcular las salidas de las neuronas de la capa intermedia, según la Ecuación 21.
4. Calcular el valor de los niveles de excitación de las neuronas de la capa de salida, tal como se indica en la Ecuación 22.
5. Calcular las salidas de la red, utilizando la Ecuación 23.
6. Calcular la sensibilidad de las neuronas de la capa de salida, a partir del error aproximado en la salida con el vector de salida deseado $d^p = (d_1^p, d_2^p, \dots, d_N^p)^T$ y según la Ecuación 40.

$$\delta_k^p = (d_k^p - y_k^p) F_k'(s_k^p)$$

Ecuación 40. Sensibilidad de las neuronas de la capa de salida.

7. Calcular la sensibilidad de las neuronas de la capa intermedia, de acuerdo con la Ecuación 36.

8. Actualizar los pesos y las “bias” de las conexiones que unen las neuronas de la capa intermedia con las de la capa de salida, tal como se especifica en la Ecuación 31 y en la Ecuación 32.
9. Actualizar los pesos y las “bias” de las conexiones que unen las neuronas de la capa de entrada con las de la capa intermedia, teniendo en cuenta la Ecuación 38 y la Ecuación 39.
10. Calcular el término de error E^p , según la Ecuación 24.

Dado que E^p refleja la capacidad de adaptación de la red, hay que tenerlo en cuenta para determinar si la red aprende de forma satisfactoria o no.

3.2 Máquinas de vectores soporte

Las Máquinas de Vectores Soporte (Support Vector Machines - SVM) son un sistema de aprendizaje supervisado basado en las teorías de aprendizaje estadístico introducidas por Vapnik [132], [133], [134].

Las SVM pertenecen a la familia de los clasificadores lineales dado que tratan de encontrar separadores lineales o hiperplanos, ya sea en el espacio original de los ejemplos de entrada, si éstos son separables, o en un espacio transformado, si los ejemplos no son separables linealmente en el espacio original. La búsqueda del hiperplano de separación en estos espacios transformados, normalmente de muy alta dimensión, se hace utilizando las denominadas funciones kernel, siendo el hiperplano óptimo de separación aquel que sea capaz de separar correctamente las muestras de entrenamiento de cada clase con el mayor margen posible, ver Ilustración 13 [135].

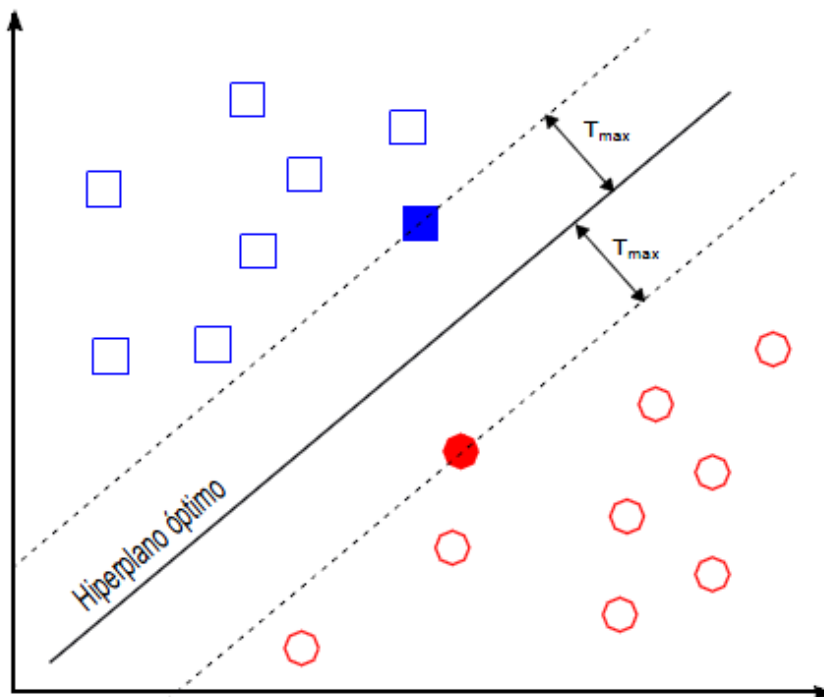


Ilustración 13. Hiperplano de separación óptimo.

3.2.1 Máquinas de vectores de soporte para regresión

Aunque originariamente las SVM fueron pensadas para resolver problemas de clasificación binaria, en la actualidad se utilizan también para resolver problemas de regresión [136]. En este caso el nombre que reciben es el de máquinas de vectores soporte para regresión (Support Vector Regression – SVR).

En este apartado se detalla el método de las SVR. Para mayor información se puede consultar [132], [134], [137].

Para fijar la notación y seguir la descripción, se considera un conjunto de ejemplos de entrenamiento $S = \{(x_1, y_1) + \dots + (x_n, y_n)\}$, donde $x_i \in \mathbb{R}^d$ e $y_i \in \mathbb{R}$, en el que se asume que los valores de y_i de todos los ejemplos de S se pueden ajustar mediante una función lineal, el objetivo de la tarea de regresión es encontrar los parámetros $w = (w_1, \dots, w_d)$ que permitan definir dicha función lineal, según la Ecuación 41.

$$f(x) = (w_1x_1 + \dots + w_dx_d) + b = \langle w, x \rangle + b$$

Ecuación 41. Función lineal para regresión.

Donde w y b son coeficientes.

Con el objetivo de relajar la condición de error entre el valor predicho por la función y el valor real, se utiliza la denominada función de pérdida ϵ -insensible, representada por L_ϵ , Ilustración 14, caracterizada por ser una función lineal con una zona insensible, de anchura 2ϵ , en la que el error es nulo y que está definida por la Ecuación 42.

$$L_\epsilon(y, f(x)) = \begin{cases} 0, & \text{si } |y - f(x)| \leq \epsilon \\ |y - f(x)| - \epsilon, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Ecuación 42. Función de pérdida ϵ -insensible.

La razón principal para elegir esta función es la de permitir cierta dispersión en la función solución, de tal forma que todos los ejemplos que quedan recluidos en la región tubular definida por $\pm \epsilon$ no serán considerados vectores soporte. De esta forma se reducirá significativamente el número de éstos.

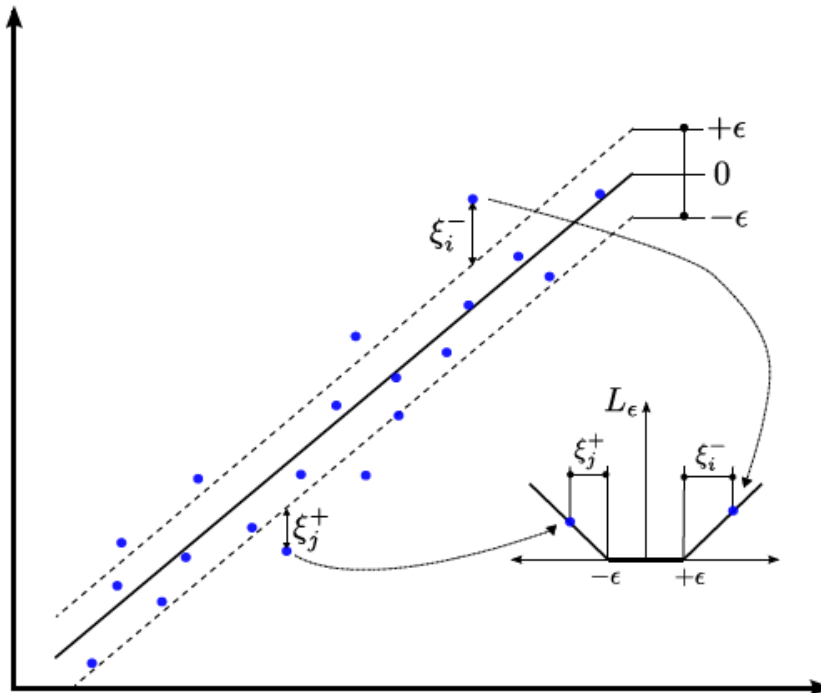


Ilustración 14. Función de pérdida ϵ -insensible.

Dado que en la práctica es muy difícil que los ejemplos de entrenamiento se ajusten al modelo lineal con un error de predicción igual a cero, se recurre al concepto de margen blando. Para ello, se definen dos variables de holgura, ξ_i^+ y ξ_i^- , que permitirán cuantificar la magnitud de dicho error, ver Ilustración 14. De esta forma, la variable $\xi_i^+ > 0$ cuando la predicción del ejemplo, $f(x_i)$ es mayor que su valor real, y_i , en una cantidad superior a ϵ , es decir, $f(x_i) - y_i > \epsilon$. En otro caso, su valor será cero. De forma similar, la variable $\xi_i^- > 0$ cuando el valor real del ejemplo es mayor que su predicción en una cantidad superior a ϵ , es decir, $y_i - f(x_i) > \epsilon$. En otro caso, su valor será cero. Dado que no puede ocurrir simultáneamente que la predicción de un ejemplo sea, al mismo tiempo, mayor ($\xi_i^+ > 0$) y menor ($\xi_i^- > 0$) que su valor real, se puede afirmar que $\xi_i^+ \cdot \xi_i^- = 0$. De esta forma, la función a optimizar queda definida según la Ecuación 43.

$$\text{mín } \frac{1}{1} \langle w, w \rangle + C \sum_{i=1}^n (\xi_i^+ + \xi_i^-)$$

Ecuación 43. Formulación del problema primal.

Sujeto a:

$$\langle w, x_i \rangle + b - y_i - \epsilon - \xi_i^+ \leq 0$$

$$y_i - (\langle w, x_i \rangle + b) - \epsilon - \xi_i^- \leq 0$$

$$\xi_i^+ \cdot \xi_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, n$$

Donde C es una constante elegida por el usuario, que permite controlar en qué grado influye el término $(\xi_i^+ + \xi_i^-)$ en la minimización de la norma, es decir, servirá para regular el grado de sobreajuste que se permite a la hipótesis generada.

Este problema de optimización con restricciones corresponde a un problema de programación cuadrática y se resuelve mediante la teoría de la optimización [138]. Dicha teoría establece que un problema de optimización, denominado primal, tiene una forma dual si la función a optimizar y las restricciones son funciones estrictamente convexas. En estas circunstancias, resolver el problema dual permite obtener la solución del problema primal. En este caso, se emplea un método de dualización estándar utilizando multiplicadores de Lagrange [137].

La transformación al problema dual se realiza según los siguientes pasos:

Paso 1. Obtención de la función de Lagrange.

$$L(w, b, \xi_i^+, \xi_i^-, \alpha^+, \alpha^-, \beta^+, \beta^-) = \frac{1}{2} \langle w, w \rangle + C \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n (\xi_i^+ + \xi_i^-) + \sum_{i=1}^n \alpha_i^+ [(\langle w, x_i \rangle + b) - y_i - \epsilon - \xi_i^+] + \sum_{i=1}^n \alpha_i^- [y_i - (\langle w, x_i \rangle + b) - \epsilon - \xi_i^-] - \sum_{i=1}^n \beta_i^+ \xi_i^+ - \sum_{i=1}^n \beta_i^- \xi_i^-$$

Ecuación 44. Función de Lagrange.

Donde:

- L es la función de Lagrange
- α_i, β son los denominados multiplicadores de Lagrange.

Paso 2. Consiste en aplicar las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker [133], también conocidas como condiciones KKT, tal como se indica en la Ecuación 45, Ecuación 46, Ecuación 47, Ecuación 48, Ecuación 49 y Ecuación 50.

$$\frac{\partial L}{\partial w} \equiv w + \sum_{i=1}^n \alpha_i^+ x_i - \sum_{i=1}^n \alpha_i^- x_i = 0$$

Ecuación 45. Condiciones de KKT-1.

$$\frac{\partial L}{\partial b} \equiv \sum_{i=1}^n \alpha_i^+ - \sum_{i=1}^n \alpha_i^- = 0$$

Ecuación 46. Condiciones de KKT-2.

$$\frac{\partial L}{\partial \xi_i^+} \equiv C - \alpha_i^+ - \beta_i^+ = 0$$

Ecuación 47. Condiciones de KKT-3

$$\frac{\partial L}{\partial \xi_i^-} \equiv C - \alpha_i^- - \beta_i^- = 0$$

Ecuación 48. Condiciones de KKT-4

$$\alpha_i^+ [(\langle w^*, x_i \rangle + b^*) - y_i - \epsilon - \xi_i^+] = 0; \alpha_i^- [y_i - (\langle w^*, x_i \rangle + b^*) - \epsilon - \xi_i^-] = 0$$

Ecuación 49. Condiciones de KKT-5

$$\beta_i^+ \xi_i^+ = 0; \beta_i^- \xi_i^- = 0$$

Ecuación 50. Condiciones de KKT-6

Paso 3. Establecer las relaciones entre las variables del problema primal (w, b, ξ^+, ξ^-) con las del problema dual ($\alpha^+, \alpha^-, \beta^+, \beta^-$). Haciendo uso de la Ecuación 45, se obtiene la Ecuación 51.

$$w = \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) x_i$$

Ecuación 51. Expresión que relaciona el problema primal con el dual.

Paso 4. Establecer las restricciones adicionales de las variables duales. Para ello se utilizan la Ecuación 46, Ecuación 47 y Ecuación 48, obteniéndose las restricciones indicadas en la Ecuación 52.

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i^+ - \alpha_i^-) = 0; \beta_i^+ = C - \alpha_i^+; \beta_i^- = C - \alpha_i^-$$

Ecuación 52. Restricciones adicionales de las variables duales

Paso 5. Del resultado alcanzado en el paso 3, eliminando las variables primales de la función de Lagrange, se obtiene la Ecuación 53.

$$L(\alpha^+, \alpha^-) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) y_i - \epsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- + \alpha_i^+) - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) (\alpha_j^- - \alpha_j^+) \langle x_i x_j \rangle$$

Ecuación 53. Función de Lagrange sin variables primales

Finalmente, se obtiene la formalización del problema dual, según la Ecuación 54:

$$\text{máx} \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) y_i - \epsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- + \alpha_i^+) - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) (\alpha_j^- - \alpha_j^+) < x_i x_j >$$

Ecuación 54. Formulación del problema dual

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i^+ - \alpha_i^-) = 0$$

$$0 \leq \alpha_i^+, \alpha_i^- \leq C, i = 1, \dots, n$$

La función de regresión obtenida será la especificada en la Ecuación 55.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- + \alpha_i^+) < x, x_i > + b^*$$

Ecuación 55. Función de regresión.

68

Para calcular el parámetro b^* se hace uso de las restricciones obtenidas como resultado de aplicar las condiciones de KKT, Ecuación 49 y Ecuación 50. Utilizando la Ecuación 52, las dos últimas restricciones se pueden escribir como:

$$(C - \alpha_i^+) \xi_1^+ = 0; (C - \alpha_i^-) \xi_1^- = 0$$

Ecuación 56. Restricciones de KKT.

De la Ecuación 49, se deduce que $\alpha_i^- \cdot \alpha_i^+ = 0$, es decir, ambas variables no pueden ser simultáneamente distintas de cero. De lo contrario, se obtendrían dos valores diferentes de b^* para cada una de las expresiones de la Ecuación 49. Por otra parte, a partir de la Ecuación 56, se puede afirmar que si un ejemplo (x_i, y_i) está fuera de la zona tubular ϵ -insensible, es decir, $\xi_i^- = 0$ y $\xi_i^+ > 0$ o $\xi_i^- > 0$ y $\xi_i^+ = 0$, entonces $\alpha_i^+ = C$ (primer caso) o $\alpha_i^- = C$ (segundo caso). Estas deducciones permiten obtener la Ecuación 57 y el valor de b^* , según la Ecuación 58.

$$y_i - < w^*, x_i > + \epsilon \leq b^* \leq y_i - < w^*, x_i > + \epsilon, \quad \text{si } 0 < \alpha_i^+ < C$$

Ecuación 57. Expresión empleada para calcular el valor de b^* .

$$b^* = y_i - < w^*, x_i > + \epsilon, \quad \text{si } 0 < \alpha_i^+ < C; \quad b^* = y_i - < w^*, x_i > - \epsilon, \quad \text{si } 0 < \alpha_i^- < C$$

Ecuación 58. Valor de b^* .

El valor de b^* siempre será único porque las condiciones asociadas a la Ecuación 58 no pueden ser ciertas simultáneamente, ya que $\alpha_i^+ \cdot \alpha_i^- = 0$. Si se cumple la primera condición, es decir, $(0 < \alpha_i^+ < C)$, entonces $\alpha_i^- = 0$ y, por tanto, no se cumplirá la segunda. De la misma forma, si se cumpliera la condición de la segunda expresión $(0 < \alpha_i^- < C)$, entonces $\alpha_i^+ = 0$ y no podría cumplirse la primera condición.

3.2.1.1 Aplicación de las funciones Kernel

En el caso de que los ejemplos, pertenecientes al espacio original de entradas, no puedan ajustarse por una función lineal se transforman a un nuevo espacio, denominado espacio de características, ver Ilustración 15, en el que sí es posible ajustar los ejemplos transformados mediante un regresor lineal. El tipo de transformación dependerá del Kernel utilizado. Así, el regresor asociado a la función lineal en el nuevo espacio es el indicado en la Ecuación 59.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) K(x, x_i)$$

Ecuación 59. Función Kernel de regresión.

Donde $K(x, x_i)$ es la función de Kernel.

Una función Kernel [139] es una función $K: X \times X \rightarrow \mathbb{R}$ que asigna a cada par de elementos del espacio de entrada, X , un valor real correspondiente al producto escalar de las imágenes de dichos elementos en un nuevo espacio \mathcal{F} (espacio de características), según la Ecuación 60.

$$K(x, x') = \langle \Phi(x), \Phi(x') \rangle = (\phi_1(x)\phi_1(x') + \dots + \phi_m(x)\phi_m(x'))$$

Ecuación 60. Función Kernel

Donde $\Phi: X \rightarrow \mathcal{F}$

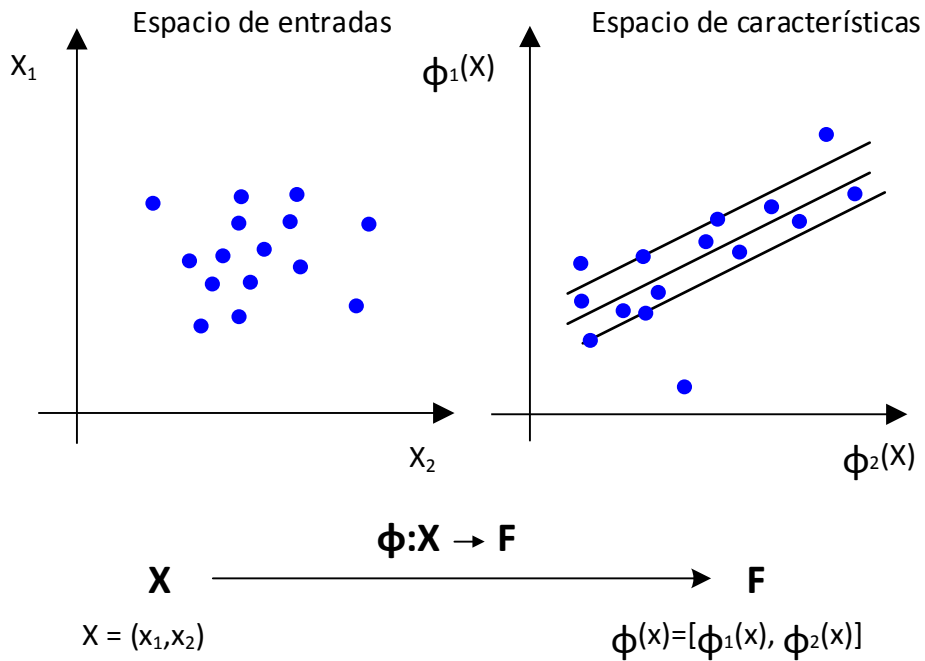


Ilustración 15. Espacio de entradas y espacio de características.

Se prescinde del término b^* puesto que éste puede ser representado mediante la inclusión de una función constante en el conjunto de funciones base como, por ejemplo, $\phi(x) = 1$. Los coeficientes α_i^-, α_i^+ se obtienen como resultado de resolver el problema dual, expresado ahora según la Ecuación 61.

$$\text{máx} \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) y_i - \epsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i^- + \alpha_i^+) - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i^- - \alpha_i^+) (\alpha_j^- - \alpha_j^+) K(x_i, x_j)$$

Ecuación 61. Formulación del problema dual con funciones Kernel.

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i^+ - \alpha_i^-) = 0$$

$$0 \leq \alpha_i^+, \alpha_i^- \leq C, i = 1, \dots, n$$

La Ecuación 61 se obtiene al sustituir los productos escalares de la Ecuación 54 por funciones Kernel.

A modo de resumen, puede decirse que para resolver problemas de regresión mediante SVR hay que seleccionar, además del Kernel más adecuado (en el caso de regresión no lineal), tanto ϵ como C .

3.3 Regresión Polinomial

Los modelos de regresión explican la dependencia de una variable respecto de una o varias variables. Su objetivo es determinar una función matemática que describa el comportamiento de una variable dados los valores de otra u otras variables [140]. El modelo general de regresión viene dado por la Ecuación 62.

$$y_i = a_0 + a_1x_i + e_i$$

Ecuación 62. Modelo general de regresión.

Donde:

- y_i es la variable aleatoria o variable respuesta.
- x_i es la variable conocida o predictora.
- a_0 y a_1 son parámetros desconocidos
- e es el residuo, error o diferencia entre el modelo y el valor verdadero de y .

3.3.1 Método de mínimos cuadrados.

En este apartado se detalla la regresión polinomial aplicando el método de mínimos cuadrados.

La expresión de un polinomio de grado n viene dada por la Ecuación 63.

$$P_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n = \sum_{i=0}^n a_ix^i$$

Ecuación 63. Expresión de un polinomio de grado n .

Siendo n el grado del polinomio.

Teniendo en cuenta el modelo de regresión general, Ecuación 62, el modelo de regresión para un polinomio de grado n vendría dado por la Ecuación 64.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n + e$$

Ecuación 64. Modelo de regresión polinomial.

Aplicando el método de mínimos cuadrados [141], la suma de los cuadrados de los residuos, S_r , se calcularía según la Ecuación 65.

$$S_r = \sum e_i^2 = \sum (y_{i,medida} - y_{i,modelo})^2 = \sum (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 \dots - a_nx_i^n)^2$$

Ecuación 65. Expresión para calcular S_r .

Para determinar los valores de a_i , la Ecuación 65 se deriva con respecto a cada uno de los coeficientes del polinomio, según la Ecuación 66, Ecuación 67 y Ecuación 68, y estas ecuaciones se igualan a cero para obtener un S_r mínimo.

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 \dots - a_nx_i^n)$$

Ecuación 66. Derivada parcial de S_r (a_0).

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum x_i (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 \dots - a_nx_i^n)$$

Ecuación 67. Derivada parcial de S_r (a_1).

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_n} = -2 \sum x_i^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 \dots - a_nx_i^n)$$

Ecuación 68. Derivada parcial de S_r (a_n).

A partir de las anteriores ecuaciones, se obtiene el sistema de ecuaciones normales dado por la Ecuación 69.

$$\begin{aligned} a_0(m) + a_1 \sum x_i + a_2 \sum x_i^2 + \dots + a_n \sum x_i^n &= \sum y_i \\ a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i^3 \dots + a_n \sum x_i^{n+1} &= \sum y_i x_i \\ a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^4 \dots + a_n \sum x_i^{n+2} &= \sum y_i x_i^2 \\ a_0 \sum x_i^n + a_1 \sum x_i^{n+1} + a_2 \sum x_i^{n+2} \dots + a_n \sum x_i^{2n} &= \sum y_i x_i^n \end{aligned}$$

Ecuación 69. Sistema de ecuaciones normales.

Todos los sumatorios son desde $i = 1$ hasta m , donde m es el número de datos. Los coeficientes de las incógnitas se pueden evaluar de manera directa a partir de los datos observados. Partiendo de la Ecuación 65, el error estándar del estimado se formula según la Ecuación 70.

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{S_r}{m - (n + 1)}}$$

Ecuación 70. Expresión para calcular el error estándar.

El sistema de ecuaciones normales, Ecuación 69, se puede escribir en forma matricial según la Ecuación 71.

$$S_x a = S_{xy} = \begin{bmatrix} m & \sum x & \sum x^2 & \dots & \sum x^n \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \dots & \sum x^{n+1} \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \dots & \sum x^{n+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \sum x^n & \sum x^{n+1} & \sum x^{n+2} & \dots & \sum x^{2n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum yx \\ \sum yx^2 \\ \vdots \\ \sum yx^n \end{bmatrix}$$

Ecuación 71. Ecuaciones normales en forma matricial.

Donde:

- S_x es la matriz de sumatorios de potencias de x.
- a es el vector de coeficientes. Constantes del polinomio.
- S_{xy} es el vector de sumatorios de potencias de x con y.

De una forma general, un modelo de regresión polinomial [142], [143], también se puede definir como una suma lineal de funciones de base. El número de funciones de base depende de la cantidad de entradas del modelo y del grado del polinomio utilizado. Con un polinomio de primer grado, la suma lineal se define según la Ecuación 72. El modelo se vuelve más complejo a medida que aumenta el grado del polinomio, la Ecuación 73 muestra un polinomio de segundo grado

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Ecuación 72. Función polinomial de primer grado.

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2$$

Ecuación 73. Función polinomial de segundo grado.

4 TÉCNICAS DE AGRUPAMIENTO. EL MÉTODO K-MEANS DE GENERACIÓN DE CLUSTERS PARA MODELOS LOCALES

El término agrupamiento, más conocido como clustering, es una técnica de clasificación automática de datos [106]. Su finalidad esencial es revelar concentraciones en los datos para su agrupamiento eficiente en clusters según su homogeneidad. Los grupos se forman basándose en la proximidad o lejanía de los datos entre sí. Es fundamental que los elementos dentro de un cluster sean homogéneos y lo más diferentes posibles de los contenidos de otros clusters.

Para poder establecer los diferentes grupos de datos similares entre sí, es necesario contar con un mecanismo que permita medir la distancia o similitud entre dichos datos. Según la forma en la que se construyen los clusters, los algoritmos de clustering se suelen dividir en cuatro tipos [144]:

- Clustering particional. Los algoritmos de este tipo intentan buscar una división del conjunto de datos en subconjuntos con intersección vacía. Todos ellos realizan una asignación de los objetos a los diferentes clusters en función de la proximidad de dichos objetos a un representante elegido para cada clúster, denominado centroide. El algoritmo K-means es el más representativo de esta categoría.
- Clustering jerárquico. Las técnicas de clustering jerárquico se basan en la generación de sucesiones ordenadas (jerarquías) de clusters. La estructura jerárquica se representa en forma de árbol y de llama dendograma. AGNES (Aglomerative Nesting) y DIANA (Divisive Analysis) son los algoritmos jerárquicos más conocidos.
- Clustering basado en densidad. Son algoritmos basados en el concepto de densidad de un punto, que mide el número de puntos que son alcanzables de él considerando un determinado radio. El algoritmo más conocido de este tipo es DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise).
- Clustering basado en grid. Estos algoritmos se basan en una división del espacio en un número finito de celdas que constituyen una estructura en forma de rejilla en la que se llevan a cabo las operaciones de clustering. STING (Statistical Information Grid Approach) es un ejemplo de algoritmo de clustering basado en grid.

Dado que en este trabajo se ha utilizado el algoritmo de K-means para el agrupamiento inicial de los datos, se detalla en el siguiente apartado dicho algoritmo.

4.1 Algoritmo K-means

El algoritmo K-means parte de un número determinado de grupos, representados por sus centroides y de un conjunto de datos sin etiquetar. La idea es situar a los centroides en el espacio, de forma que los datos pertenecientes al mismo centroide tengan características similares [145], [146].

Todo ejemplo nuevo, una vez que los centroides han sido correctamente situados, es comparado con éstos y asociado a aquel que sea el más próximo, en los términos de una distancia previamente elegida. Normalmente, se usa la distancia euclídea [135].

El método tiene una fase de entrenamiento, que puede ser lenta, dependiendo del número de puntos a clasificar y de la dimensión del problema. Pero una vez terminado el entrenamiento, la clasificación de los nuevos datos es muy rápida, debido a que la comparación de distancias se realiza solamente con los prototipos [118].

El procedimiento es el siguiente:

- Se calcula para cada centroide el ejemplo más próximo y se incluye en la lista del mismo.
- Después de haber introducido todos los ejemplos, cada centroide A_k tendrá un conjunto de ejemplos a los que representa.
- Se desplaza el centroide hacia el centro de masas de su conjunto de ejemplos.
- Se repite el procedimiento hasta que ya no se desplazan los centroides.

Mediante este algoritmo el espacio de ejemplos de entrada se divide en k clusters o grupos, y el centroide de cada grupo estará en el centro del mismo. Dichos centros se calculan con el objetivo de minimizar las distancias cuadráticas euclídeas entre los datos de entrada y el centro del clúster al que pertenecen, es decir minimizando la función expresada por la Ecuación 74.

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^m M_{in} \|x_n - A_i\|^2$$

Ecuación 74. Función de costo.

Donde:

- m es el conjunto de datos de entrada.
- $\|\cdot\|$ es la distancia euclídea.
- x_n es el ejemplo de entrada.
- A_i es el centroide del cluster i .
- M_{in} es la función de pertenencia del ejemplo n al cluster i , de forma que vale 1 si el centroide A_i es el más cercano al ejemplo x_n y 0 en caso contrario, según se expresa en la Ecuación 75.

$$M_{in} = \begin{cases} 1, & \text{si } \|x_n - A_i\|^2 < \|x_n - A_s\|^2 \\ 0, & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad \forall s \neq i, s = 1, 2, \dots, k$$

Ecuación 75. Condiciones de la función de pertenencia M_{in} .

Los centroides se mueven al final de cada iteración desplazándose hasta el centro de masas de los ejemplos a los que representan. Como después de una nueva iteración,

los ejemplos son reasignados debido al desplazamiento de todos centroides al final de la iteración anterior, es necesario volver a calcular las masas de los nuevos ejemplos. A medida que los centroides vayan situándose, se producirán menos cambios en sus conjuntos de ejemplos, y su desplazamiento será menor. Así, poco a poco los desplazamientos se van haciendo menores, hasta desaparecer. La colocación final de los centroides definirá la solución encontrada por el método, ver Ilustración 16, las cruces representan los centroides.

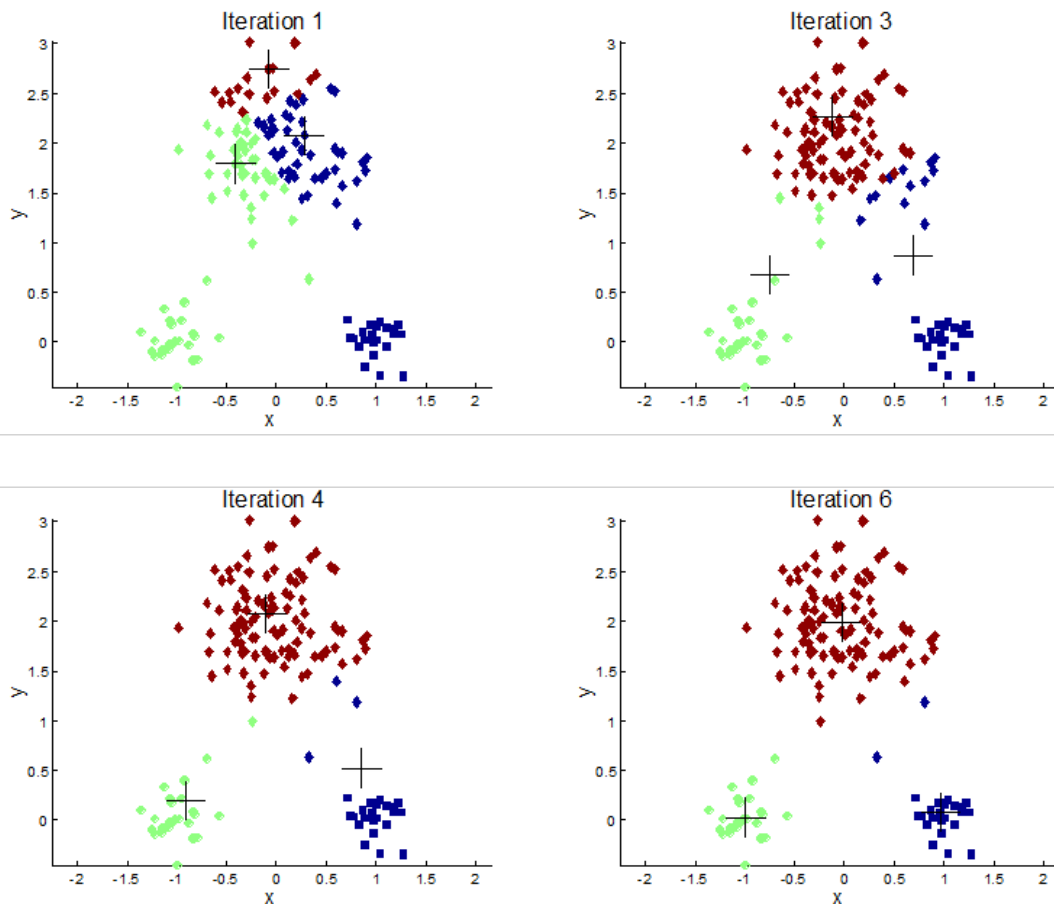


Ilustración 16. Ejemplo de evolución de un k-means. Figuras adaptadas de: <http://www.elet.polimi.it/>

5 TÉCNICAS DE VALIDACIÓN

Una vez obtenidos los modelos a partir del conjunto de datos, el siguiente paso consiste en valorar la calidad de dichos modelos. Las medidas de evaluación utilizadas dependen de la tarea a la que esté orientado el modelo, a continuación se mencionan las más habituales [135]:

- Clasificación. Para evaluar un modelo de clasificación se mide su precisión predictiva, es decir, el porcentaje de clasificaciones acertadas en el conjunto de prueba frente al total de las clasificaciones realizadas.

- Regresión. En este caso la medida habitual que se suele emplear es el error cuadrático medio, de forma que para cada dato del conjunto de prueba se mide la diferencia entre el valor real y el valor predicho por el modelo.
- Reglas de asociación. Para evaluar la calidad de una regla de asociación, se suele medir el porcentaje de las instancias que la regla predice correctamente.
- Agrupamiento. Se suele medir la cohesión y separación de los grupos.

Para evaluar el modelo se suele utilizar un conjunto de datos diferente al empleado para entrenamiento. Los datos se dividen en dos conjuntos disjuntos: el primer subconjunto se denomina de entrenamiento (training) y se utiliza para el aprendizaje de los modelos, y el segundo subconjunto, denominado de prueba (test), se emplea para calcular el error del modelo construido con los datos de entrenamiento.

En [147] se pueden consultar comparaciones entre distintos métodos de validación de modelos. En los siguientes apartados se detallan los métodos de validación Holdout y de validación cruzada (cross validation).

5.1 Método Holdout

La partición del conjunto de datos se realiza de forma aleatoria, dejando 2/3 de los datos para entrenamiento y 1/3 para test [148]. Es un método de simple implementación y rápida evaluación, pero presenta el problema de que su resultado es dependiente del modo en el cual se ha realizado la partición.

5.2 Método de validación cruzada

Una técnica que permite reducir la dependencia del resultado del modelo en el modo en el cual se realiza la partición, es utilizar validación cruzada [135]. Este método consiste en dividir el conjunto de datos en k subconjuntos disjuntos de similar tamaño. El entrenamiento se realiza utilizando la unión de $k-1$ subconjuntos y el subconjunto restante se emplea para calcular el error. El procedimiento se repite k veces, utilizando siempre un subconjunto diferente para estimar el error. El resultado final se calcula como la media aritmética de los k errores de muestras parciales, de forma que dicho resultado recoge la media de los experimentos con k subconjuntos de prueba independientes. Es habitual utilizar 10 particiones [135].

Una de las ventajas de esta técnica es que los k subconjuntos de prueba son independientes. Sin embargo, no ocurre lo mismo con los subconjuntos de entrenamiento. Por ejemplo, en una validación cruzada con $k=10$, cada par de subconjuntos de entrenamiento comparten el 80 por ciento de los datos. Algunos autores [149], defienden que el solapamiento entre los subconjuntos de entrenamiento podría afectar a la calidad de la estimación, y proponen una modificación de esta técnica que permita utilizar subconjuntos de entrenamiento independientes. Concretamente [149], propone validación cruzada 5×2 , que consiste en aplicar cinco repeticiones de una validación cruzada con $k=2$. En cada una de las cinco iteraciones del conjunto de datos se divide en dos subconjuntos disjuntos

(entrenamiento y prueba) de idéntico tamaño. El error de muestra final se calcula como la media de los cinco errores de muestra parciales.

El método de validación cruzada suele ser más preciso que el de Holdout, pero presenta el problema de que es lento desde el punto de vista computacional. Por este motivo y porque los resultados obtenidos en este trabajo con el método Holdout son satisfactorios, no se ha utilizado el método de validación cruzada, aunque no se descarta probar su eficacia en el futuro.

5.3 Evaluación de los modelos de regresión

En los modelos de regresión se suele estimar la calidad del modelo calculando la diferencia entre las predicciones del modelo y los datos de la muestra utilizados para el test de validación [135]. En cada caso, se seleccionará el método de regresión que aporte una menor diferencia de error entre las predicciones del modelo y los datos utilizados para el test de validación. La medida de evaluación que se utiliza para comparar los modelos es el error cuadrático medio [150], representado por MSE y que viene definido por la Ecuación 76.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{i \text{ modelo}} - y_{i \text{ real}})^2$$

Ecuación 76. Error cuadrático medio.

78

Siendo “n” el número de datos.

Una vez seleccionado el mejor modelo, con el objetivo de expresar el error en las mismas unidades que los datos, se proporcionará en cada caso el error absoluto medio (Mean Absolute Error - MAE), definido según la Ecuación 77.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{i \text{ modelo}} - y_{i \text{ real}}|$$

Ecuación 77. Error absoluto medio

Capítulo 7. Propuesta de modelado

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe de forma detallada la propuesta de modelado, así como el procedimiento que se ha seguido para su obtención.

Tal como se indica en el apartado 2 “Clasificación general de los métodos de regresión” del capítulo 6 “Métodos avanzados de regresión para el desarrollo de modelos”, en este trabajo se contempla la utilización de dos tipos de modelos: globales y locales. A continuación se detallan los procedimientos para cada caso.

1.1 Métodos propuestos para su uso en modelos globales

El conjunto de datos se divide de una forma aleatoria, mediante la técnica de validación Holdout, en dos grupos, seleccionando 2/3 de los datos para la fase de entrenamiento y el 1/3 restante para la fase de validación. El esquema básico que se utilizará en los modelos globales se representa en la Ilustración 17.

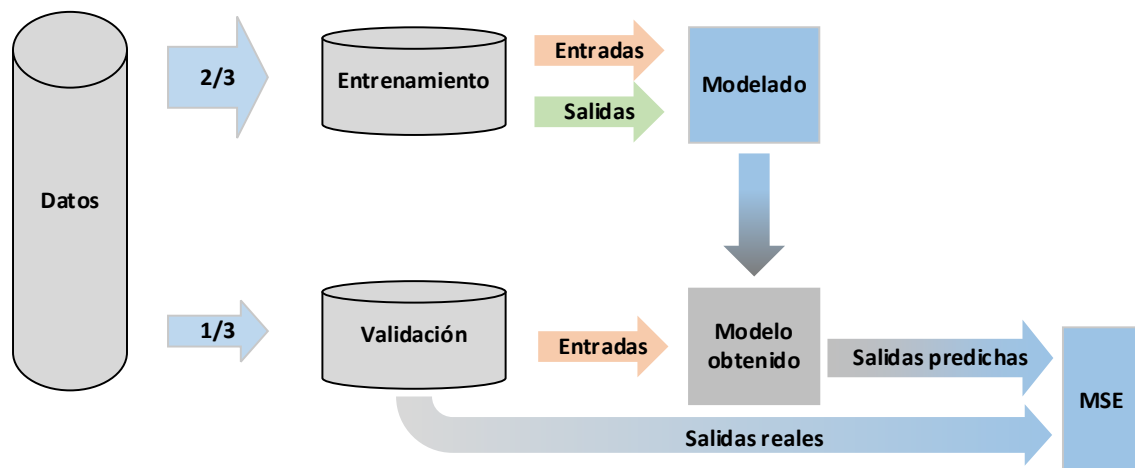


Ilustración 17. Proceso de modelado global.

Una vez identificados los mejores modelos de cada método, se seleccionará el modelo que menor MSE presente, según la Ilustración 18.

Este procedimiento se aplicará para los tres métodos de regresión contemplados:

- Redes Neuronales Artificiales - RNA.
- Máquinas de Vectores Soporte para Regresión. Least Squares Support Vector Regression - LS-SVR.
- Regresión Polinomial.

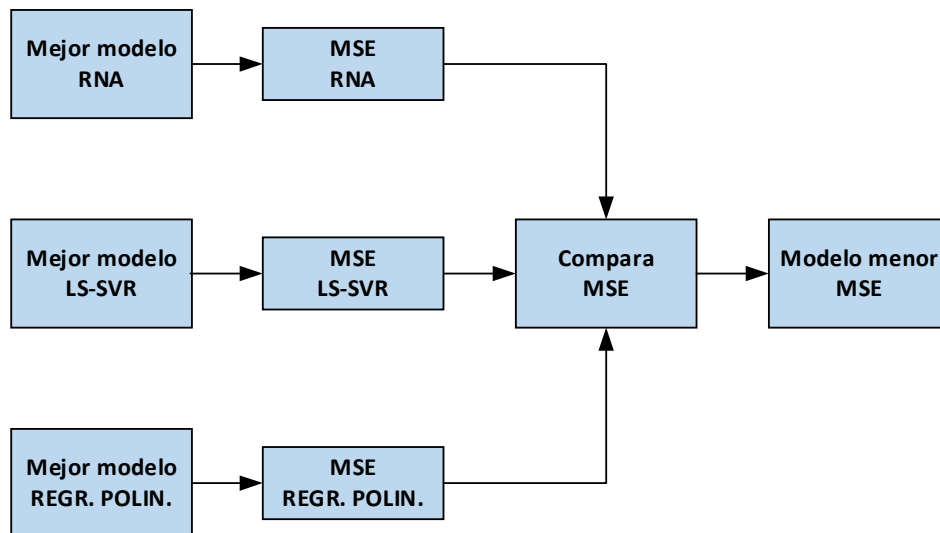


Ilustración 18. Obtención del mejor modelo.

Se detallan a continuación las características de cada método utilizado.

1.1.1 Redes Neuronales Artificiales

Se ha implementado una RNA tipo MLP con una capa oculta, variando su número de neuronas desde 1 hasta 15. Se ha estimado un rango de 1 a 15 neuronas y se elige la configuración que ofrezca menor error, siempre y cuando no coincida con el extremo superior en cuyo caso habría que aumentar el rango de prueba.

El número de neuronas de la capa de entrada y de la capa de salida vienen dadas por las variables que definen el problema.

La función de activación de las neuronas de la capa oculta es del tipo tangente sigmoïdal y la de la capa de salida es de tipo lineal.

El algoritmo de entrenamiento utilizado fue el de “Levenberg-Marquardt”, se usó el gradiente de descenso como método de minimización y el MSE como criterio de medida del error.

1.1.2 Máquinas de Vectores Soporte para Regresión

Se ha aplicado el algoritmo autoajutable LS-SVR, basado en la técnica de ajuste por mínimos cuadrados. Se entrenó, de forma automatizada, con la toolbox de Matlab desarrollada por KULeuven-ESAT-SCD. El Kernel utilizado es el modelo Radial Basis Function (RBF) y el tipo de función usado es “Function Estimation” para regresión. La función de optimización empleada es “simplex”, la función de coste es “leaveoneoutlssvm” y se utiliza el MSE como criterio de medida del error.

1.1.3 Regresión Polinomial

Se ha ensayado con funciones de regresión polinomial desde orden 1 hasta 10. Se elige la configuración que proporcione menor error, siempre y cuando no coincida con el extremo superior, en cuyo caso habría que aumentar el rango de prueba.

1.2 Métodos propuestos para su uso en modelos locales

Para formación y análisis de regresión en modelos locales se propone un sistema híbrido que permite efectuar tareas de regresión con mayor precisión [151].

Este sistema se desarrollará en dos fases. En la primera fase se agrupan los datos en conjuntos con características similares y en la segunda se realizan los métodos de regresión en cada grupo, seleccionando el mejor método de cada uno, Ilustración 19. A continuación se detallan las dos fases:

- Primera fase: el conjunto de datos inicial se dividirá aleatoriamente en dos grupos, mediante la técnica de validación Holdout, seleccionando los 2/3 de los datos para el entrenamiento y el 1/3 restante para el test de validación. A continuación, mediante la utilización de la técnica de agrupamiento K-means, se realiza el proceso 20 veces con una inicialización aleatoria y se selecciona el mejor resultado obtenido. La configuración de K-means se varió de 2 a 9 grupos.
- Segunda fase: Una vez generados los grupos de datos en la primera fase, se aplican a cada grupo los mismos métodos de regresión utilizados en los modelos globales, es decir, RNA, LS-SVR y Regresión Polinomial, en las mismas condiciones. Seguidamente se contrasta cada método con los datos reservados para validación y se obtiene el MSE. Al igual que para el caso de los modelos globales, una vez identificado el mejor modelo de cada método, se selecciona el que menor MSE presente en cada uno de los grupos, Ilustración 18.

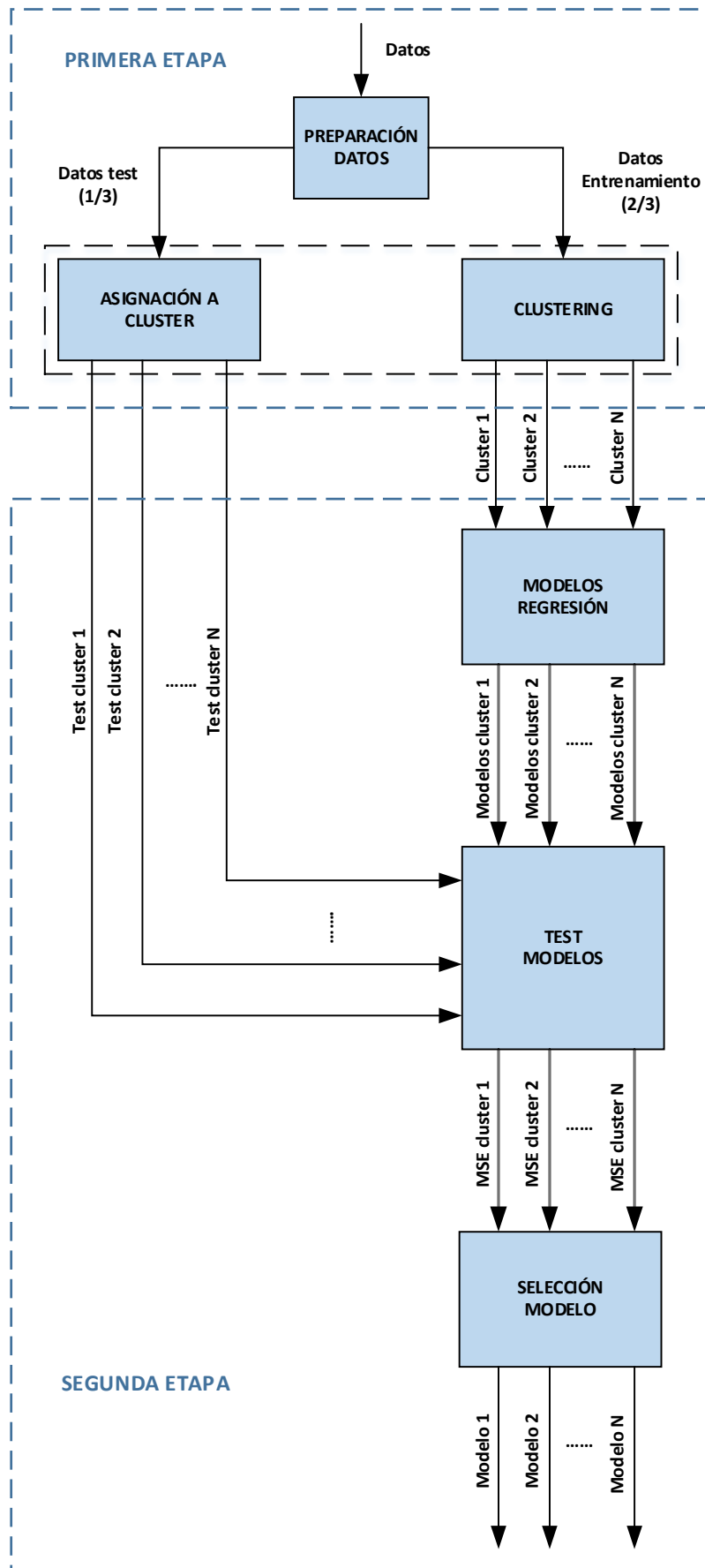


Ilustración 19. Esquema del sistema para modelos híbridos locales.

*Capítulo 8. Resultados del análisis
preliminar de la muestra*

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran los resultados del análisis descriptivo de los datos en cada etapa.

2 PRIMERA ETAPA

Una vez analizados los datos de esta etapa, capítulo 3 - Muestra objeto del análisis, apdo. 2.1, se comprueba que resultan insuficientes para iniciar el trabajo que se pretende realizar, porque son parciales o se omiten. Está incompleta la información relativa a las notas de acceso a la titulación y a la calificación numérica de cada materia. Se desconoce el tiempo que invierte en rematar los estudios cada estudiante y las materias optativas que cursa. De los datos solicitados, solamente conocemos en su totalidad las vías de acceso de los estudiantes. No se muestran los resultados de esta etapa porque se opta por realizar el análisis con los datos completos en la segunda y tercera etapa.

3 SEGUNDA ETAPA

Una vez examinada la información de esta etapa, capítulo 3, apartado 2.2, de los 2.736 estudiantes se descartan los datos académicos de 880 porque no se dispone de la totalidad de la información necesaria para el trabajo que se pretende abordar. Por lo anterior, se inicia el estudio con los datos de 1.856 estudiantes, que presentan la información completa relativa a: género, procedencia geográfica, forma de acceso, edad de inicio y de finalización de los estudios universitarios y número de cursos empleado en rematar la titulación. A continuación se describe la información disponible, resaltando los siguientes aspectos:

- **Género.**

La gran mayoría de los estudiantes matriculados son hombres, según se muestra a continuación (Tabla 11 e Ilustración 20).

Género	Nº estudiantes
Hombres	1485
Mujeres	371

Tabla 11. Nº de estudiantes matriculados por género.

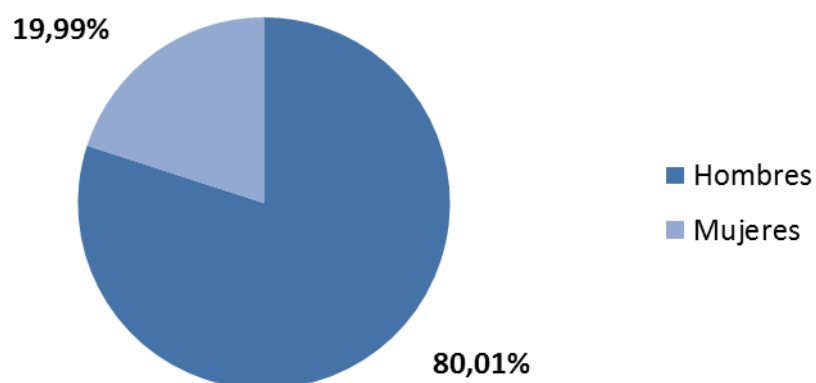


Ilustración 20. Estudiantes por género.

- **Procedencia geográfica.**

Se comprueba que casi la totalidad de los estudiantes son habitantes de la Comunidad Autónoma de Galicia, tal como se muestra en la Tabla 12 y en la Ilustración 21.

Lugar de procedencia	Nº estudiantes
A Coruña	1638
Lugo	160
Orense	17
Pontevedra	25
Resto de provincias españolas	16

Tabla 12. Número de estudiantes según lugar de procedencia

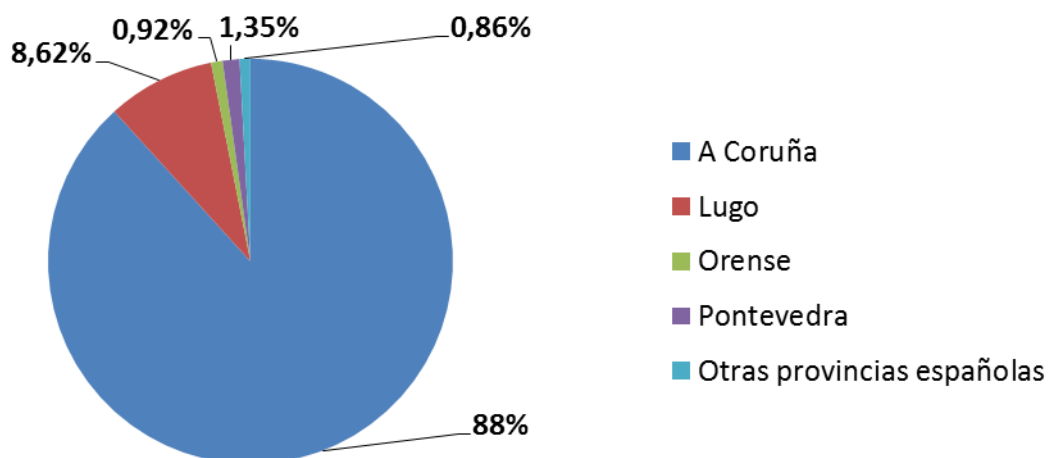


Ilustración 21. Procedencia geográfica de los estudiantes.

- **Forma de acceso.**

De todas las posibles vías de acceso contempladas en la legislación [152] que regula el ingreso en la universidad, los estudiantes matriculados proceden mayoritariamente de Bachillerato y, en menor medida, de Formación Profesional. Otras vías de acceso son utilizadas, de forma minoritaria, por titulados universitarios y mayores de 25 años. Los datos completos se presentan en la Tabla 13 y en la Ilustración 22.

Acceso	Nº estudiantes
Bachillerato	1701
Formación Profesional	150
Otras titulaciones universitarias y mayores de 25 años	5

Tabla 13. Vías de acceso a la titulación

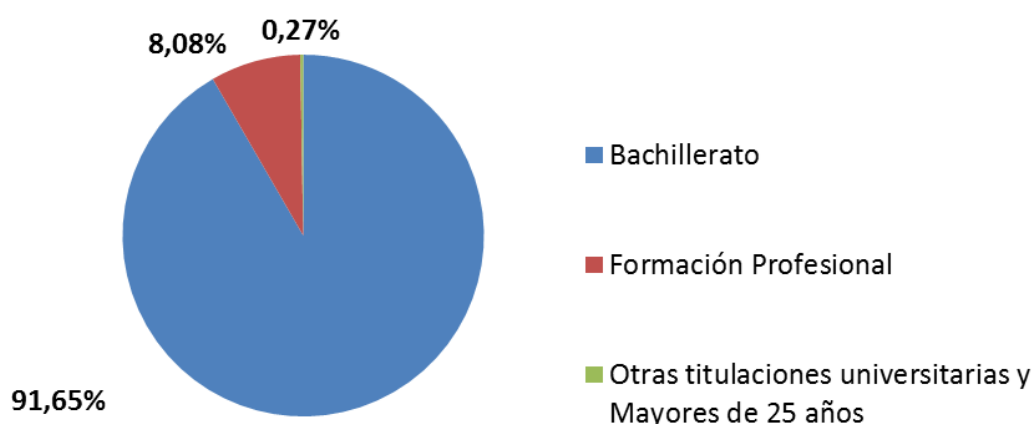


Ilustración 22. Estudiantes según la forma de acceso a la titulación.

- **Edad de inicio de los estudios universitarios.**

La media de edad de la primera matrícula es de 20,86 años. Tal como se puede observar en la Tabla 14, el 74,62 % de los estudiantes inician la carrera con una edad menor o igual a 21 años y el 25,38 % restante se matricula con una edad igual o superior a 22 años. En la Ilustración 23 se muestra un histograma con las edades de inicio de los estudios.

Edad X_i	Frecuencia absoluta n_i	Frecuencia absoluta acumulada N	Frecuencia relativa f_i	Frecuencia relativa Acumulada F_i
19	738	738	39,76%	39,76%
20	396	1134	21,34%	61,10%
21	251	1385	13,52%	74,62%
22	174	1559	9,38%	84,00%
23	92	1651	4,96%	88,95%
24	66	1717	3,56%	92,51%
25	30	1747	1,62%	94,13%
26	24	1771	1,29%	95,42%
27	25	1796	1,35%	96,77%
28	15	1811	0,81%	97,58%
29	16	1827	0,86%	98,44%
30	6	1833	0,32%	98,76%
y mayor...	23	1856	1,24%	100,00%

Tabla 14. Edad de acceso de los estudiantes a los estudios universitarios.

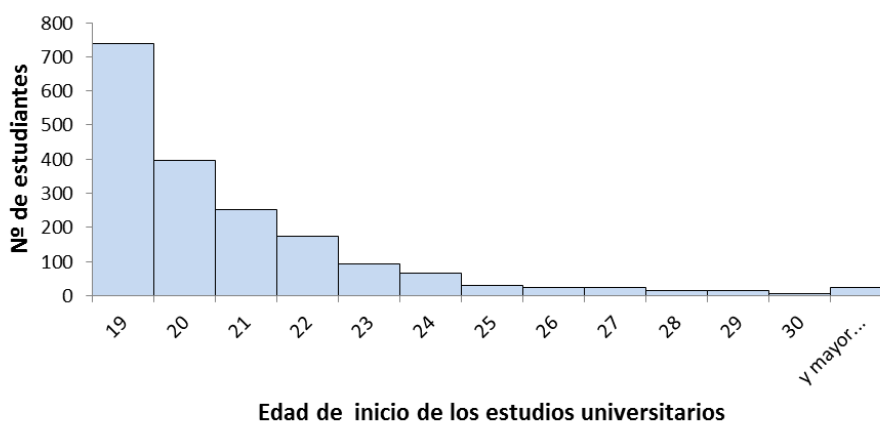


Ilustración 23. Histograma de la edad de inicio de los estudios universitarios.

- **Edad de finalización de los estudios.**

Indicar que, de los 1.856 estudiantes matriculados inicialmente, en el momento de realizar la consulta de datos (curso 2013/2014), solo rematan la carrera 962 (51,83%)⁹, tal como se muestra en la Ilustración 24.

⁹ Este dato es provisional, porque en el momento de la consulta (curso 2013/2014), todavía hay estudiantes concurriendo a los exámenes de las titulaciones de Ingeniería Técnica, en período de extinción.

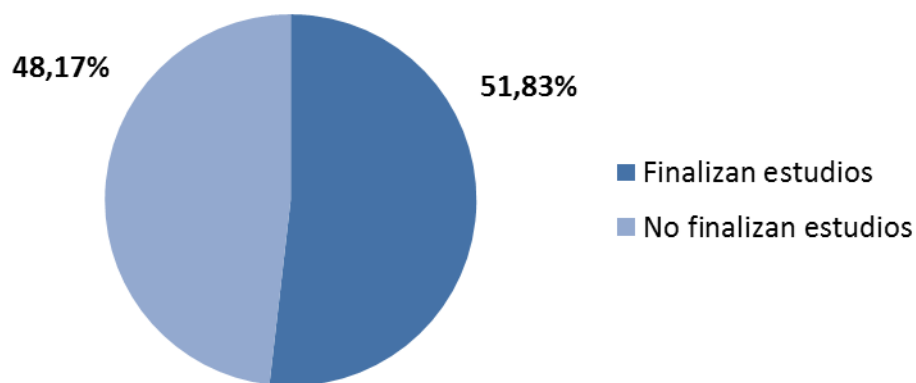


Ilustración 24. Estudiantes que finalizan sus estudios.

La media de edad al finalizar los estudios es de 26,40 años. En la Tabla 15 se puede observar el número de titulados por edades y en la Ilustración 25 se representa el histograma de la edad de los titulados.

Edad X_i	Frecuencia absoluta n_i	Frecuencia absoluta acumulada N	Frecuencia relativa f_i	Frecuencia relativa Acumulada F_i
21	17	17	1,77%	1,77%
22	63	80	6,55%	8,32%
23	85	165	8,84%	17,15%
24	121	286	12,58%	29,73%
25	124	410	12,89%	42,62%
26	146	556	15,18%	57,80%
27	116	672	12,06%	69,85%
28	88	760	9,15%	79,00%
29	65	825	6,76%	85,76%
30	31	856	3,22%	88,98%
31	42	898	4,37%	93,35%
32	28	926	2,91%	96,26%
33	7	933	0,73%	96,99%
34	9	942	0,94%	97,92%
35	7	949	0,73%	98,65%
y mayor...	13	962	1,35%	100,00%

Tabla 15. Edades de los titulados.

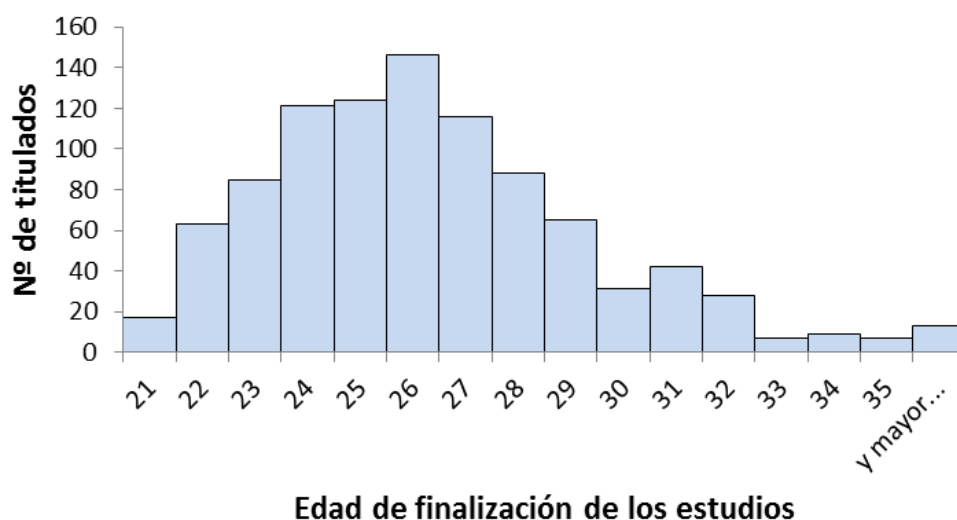


Ilustración 25. Histograma de la edad de finalización de los estudios.

- **Número de cursos empleados en realizar la carrera.**

Los estudiantes utilizan 5,96 años de media para terminar la carrera. En la Tabla 16 se puede comprobar que en los 3 cursos académicos correspondientes a la duración teórica de la carrera, solamente rematan sus estudios el 12,99 % de los estudiantes. El 16,32 % lo hace en 4 cursos, el 18,40 % en 5 y el 52,29 % restante emplea 6 o más cursos para realizar sus estudios. En la Ilustración 26 se muestra un histograma con el número de cursos que necesitan los estudiantes para rematar la carrera.

Nº cursos X_i	Frecuencia absoluta n_i	Frecuencia absoluta acumulada N	Frecuencia relativa f_i	Frecuencia relativa Acumulada F_i
3	125	125	12,99%	12,99%
4	157	282	16,32%	29,31%
5	177	459	18,40%	47,71%
6	171	630	17,78%	65,49%
7	128	758	13,31%	78,79%
8	87	845	9,04%	87,84%
9	42	887	4,37%	92,20%
10	37	924	3,85%	96,05%
y mayor...	38	962	3,95%	100,00%

Tabla 16. Número de cursos empleados para finalizar los estudios

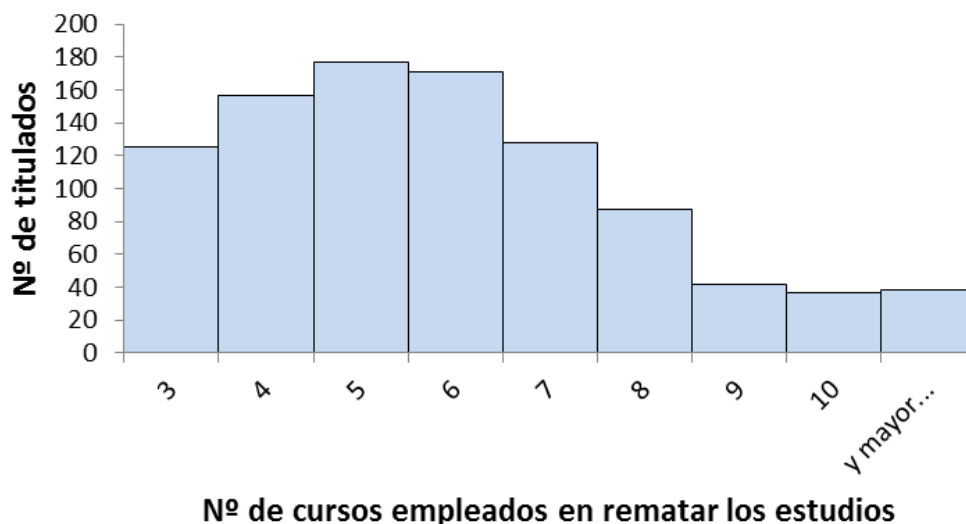


Ilustración 26. Histograma del número de cursos empleados para finalizar los estudios.

4 TERCERA ETAPA

En esta etapa es necesario realizar de forma independiente el análisis por titulaciones, debido a que las materias que cursan los estudiantes son diferentes para cada plan de estudios.

De los 1.167 expedientes consultados, se descarta el estudio de 688 de ellos porque se trata de estudiantes que no rematan los estudios o porque no incluyen el total de los datos necesarios para el trabajo. Se realiza el estudio en esta etapa con las calificaciones completas de 225 estudiantes de la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electricidad (ITI, Electricidad) y con las de 254 estudiantes de la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial (ITI, Electrónica).

Se procede a continuación a realizar un análisis descriptivo, por titulación, de las calificaciones obtenidas por los estudiantes.

4.1 Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electricidad

En la Tabla 17 se indican las materias que conforman el plan de estudios de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad electricidad. Se incluye la totalidad de las materias del plan de estudios con su duración en créditos y tipo anual o cuatrimestral [153].

Curso	Asignatura	Tipo	Duración
Primero	Física	Troncal – Anual	12
	Matemáticas I	Troncal – Anual	12
	Teoría de circuitos	Troncal – Anual	9
	Fund. de informática	Troncal – 1 ^{er} cuatrimestre	6
	Expresión Gráfica	Troncal – 2 ^o cuatrimestre	7,5
	Estadística	Troncal – 1 ^{er} cuatrimestre	6
	Química	Obligatoria – 1 ^{er} cuatrimestre	6
	Materiales Eléctricos y Mag.	Troncal – 2 ^o cuatrimestre	4,5
	Teoría de Mecanismos y Estr.	Troncal – 2 ^o cuatrimestre	6
Segundo	Electrometría	Troncal – 1 ^{er} cuatrimestre	3
	Electrónica Industrial	Troncal – Anual	10,5
	Instalaciones Eléctricas	Troncal – Anual	10,5
	Máquinas Eléctricas I	Troncal – 2 ^o cuatrimestre	4,5
	Regulación Automática	Troncal – 2 ^o cuatrimestre	7,5
	Circuitos Eléctricos	Obligatoria – 1 ^{er} cuatrimestre	6
	Programación Industrial	Obligatoria – 2 ^o cuatrimestre	6
	Matemáticas II	Obligatoria – 1 ^{er} cuatrimestre	6
Mecánica de Fluidos y Term.	Obligatoria – 2 ^o cuatrimestre	6,5	
Tercero	Transporte de En. Eléctrica	Troncal – Anual	10,5
	Centrales Eléctricas	Troncal – Anual	12
	Máquinas Eléctricas II	Troncal – 1 ^{er} cuatrimestre	7,5
	Oficina Técnica	Troncal – Anual	9
	Administración de Empresas	Troncal – 1 ^{er} cuatrimestre	6
	Aplicación de Máq. Eléctricas	Obligatoria – 2 ^o cuatrimestre	6
	Construcción Industrial	Obligatoria – 2 ^o cuatrimestre	4,5
	Proyecto Fin de Carrera	Obligatoria – 2 ^o cuatrimestre	6
Optativas	Ampliación de Química	Optativa	4,5
	Autómatas Programables	Optativa	4,5
	Control de Procesos por Computador	Optativa	4,5
	Control Electrónico de Máq. Eléctricas	Optativa	4,5
	Dibujo Industrial II	Optativa	4,5
	Domótica	Optativa	6
	Ensayos no Destructivos	Optativa	4,5
	Facturación de Energía Eléctrica	Optativa	6
	Física de Polímeros	Optativa	6
	Gestión de Aprovisionamiento	Optativa	4,5
	Ingeniería y Gestión del Medio Amb.	Optativa	4,5
	Inglés	Optativa	4,5
	Máquinas Térmicas	Optativa	6
	Sistemas de Climatización	Optativa	4,5
	Tecnología de Materiales Compuestos	Optativa	4,5
Transmisión de Calor	Optativa	4,5	

Tabla 17. Plan de estudios de ITI, Electricidad

4.1.1 Análisis descriptivo de las calificaciones de los estudiantes en cada materia

El análisis se realiza sobre las calificaciones obtenidas por los estudiantes en el momento de superar cada materia, sin tener en cuenta las convocatorias utilizadas. No se analizan las calificaciones de las materias optativas porque no todos los estudiantes cursan las mismas.

En la Tabla 18 se muestran las medidas estadísticas de posición (media, mediana y moda) de las calificaciones de las materias cursadas por los estudiantes.

Curso	Materia	Media	Mediana	Moda
Primero	Física	6,05	5,50	5,00
	Matemáticas I	5,70	5,50	5,00
	Teoría de circuitos	6,31	6,00	5,00
	Fund. de informática	6,77	7,00	5,50
	Expresión Gráfica	6,36	6,00	5,50
	Estadística	5,81	5,50	5,00
	Química	6,85	7,00	5,50
	Materiales Eléctricos y Mag.	6,29	6,00	5,50
	Teoría de Mecanismos y Estr.	5,76	5,50	5,00
Segundo	Electrometría	6,01	6,00	5,00
	Electrónica Industrial	6,16	6,00	5,00
	Instalaciones Eléctricas	6,46	6,00	5,00
	Regulación Automática	5,80	5,30	5,00
	Máquinas Eléctricas I	5,68	5,30	5,00
	Circuitos Eléctricos	6,19	6,00	5,00
	Programación Industrial	6,34	6,10	5,00
	Matemáticas II	6,62	6,40	5,00
	Mecánica de Fluidos y Term.	6,62	6,50	5,00
Tercero	Transporte de En. Eléctrica	6,25	6,00	5,00
	Centrales Eléctricas	6,28	6,00	7,00
	Máquinas Eléctricas II	5,88	5,40	5,00
	Oficina Técnica	6,28	6,20	7,00
	Administración de Empresas	5,85	5,50	5,00
	Aplicación de Máq. Eléctricas	6,00	5,70	5,00
	Construcción Industrial	7,04	7,00	7,00
	Proyecto Fin de Carrera	7,35	7,20	7,00

Tabla 18. Medidas estadísticas de posición de las calificaciones de los estudiantes.

En la Tabla 19 se muestran las medidas estadísticas de dispersión (varianza, desviación típica, rango y valores mínimo y máximo) de las calificaciones de las materias cursadas por los estudiantes.

Curso	Materia	Varianza	Desviación típica	Rango	Mínimo	Máximo
Primero	Física	1,41	1,19	5,00	5,00	10,00
	Matemáticas I	0,77	0,88	4,50	5,00	9,50
	Teoría de circuitos	1,78	1,33	5,00	5,00	10,00
	Fund. de informática	1,57	1,25	4,90	5,00	9,90
	Expresión Gráfica	1,17	1,08	4,50	5,00	9,50
	Estadística	1,01	1,00	5,00	5,00	10,00
	Química	2,04	1,43	5,00	5,00	10,00
	Materiales Eléctricos y Mag.	1,01	1,01	4,50	5,00	9,50
	Teoría de Mecanismos y Estr.	1,17	1,08	5,00	5,00	10,00
Segundo	Electrometría	1,18	1,09	5,00	5,00	10,00
	Electrónica Industrial	0,91	0,96	4,90	5,00	9,90
	Instalaciones Eléctricas	1,72	1,31	5,00	5,00	10,00
	Regulación Automática	1,19	1,09	5,00	5,00	10,00
	Máquinas Eléctricas I	0,86	0,93	5,00	5,00	10,00
	Circuitos Eléctricos	1,91	1,38	5,00	5,00	10,00
	Programación Industrial	1,41	1,19	5,00	5,00	10,00
	Matemáticas II	1,87	1,37	5,00	5,00	10,00
	Mecánica de Fluidos y Term.	1,56	1,25	5,00	5,00	10,00
Tercero	Transporte de En. Eléctrica	1,73	1,32	5,00	5,00	10,00
	Centrales Eléctricas	0,98	0,99	4,00	5,00	9,00
	Máquinas Eléctricas II	1,05	1,03	5,00	5,00	10,00
	Oficina Técnica	0,72	0,85	4,30	5,00	9,30
	Administración de Empresas	0,87	0,93	4,60	5,00	9,60
	Aplicación de Máq. Eléctricas	1,21	1,10	5,00	5,00	10,00
	Construcción Industrial	1,43	1,20	5,00	5,00	10,00
	Proyecto Fin de Carrera	0,75	0,87	5,00	5,00	10,00

Tabla 19. Medidas estadísticas de dispersión de las calificaciones de los estudiantes.

En la Tabla 20 se muestran las medidas estadísticas de forma (asimetría y curtosis) de las calificaciones de las materias cursadas por los estudiantes.

Curso	Materia	Curtosis	Coefficiente de asimetría
Primero	Física	1,55	1,40
	Matemáticas I	3,16	1,74
	Teoría de circuitos	0,50	1,10
	Fund. de informática	-0,67	0,38
	Expresión Gráfica	-0,11	0,76
	Estadística	1,51	1,39
	Química	-1,07	0,29
	Materiales Eléctricos y Mag.	0,34	0,90
	Teoría de Mecanismos y Estr.	3,35	1,87
Segundo	Electrometría	0,35	0,91
	Electrónica Industrial	0,38	0,81
	Instalaciones Eléctricas	0,12	0,92
	Regulación Automática	1,89	1,54
	Máquinas Eléctricas I	4,55	1,98
	Circuitos Eléctricos	0,21	1,10
	Programación Industrial	0,97	1,11
	Matemáticas II	-0,57	0,58
	Mecánica de Fluidos y Term.	-0,31	0,59
Tercero	Transporte de En. Eléctrica	0,63	1,13
	Centrales Eléctricas	0,34	0,81
	Máquinas Eléctricas II	1,93	1,41
	Oficina Técnica	1,12	0,84
	Administración de Empresas	1,95	1,38
	Aplicación de Máq. Eléctricas	0,69	1,13
	Construcción Industrial	-0,27	0,55
	Proyecto Fin de Carrera	0,34	0,35

Tabla 20. Medidas estadísticas de forma de las calificaciones de los estudiantes.

Como resultado del análisis de la información de la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20, se extraen las siguientes observaciones:

- Teniendo en cuenta las calificaciones medias, ver Tabla 18 e Ilustración 27, se puede observar que solamente las materias de Construcción Industrial (7,04) y Proyecto Fin de Carrera (7,35) alcanzan una calificación media de Notable. Hay otras cuatro materias que superan los 6,5 puntos de media, pero no alcanzan el Notable, éstas son Química (6,85), Fundamentos de Informática (6,77), Matemáticas II (6,62) y Mecánica de Fluidos y Termodinámica (6,62). Las materias en las que los estudiantes alcanzan las calificaciones más bajas son Máquinas Eléctricas I (5,68) y Matemáticas I (5,7).

- Si se analiza la puntuación que más se repite en las calificaciones, se comprueba que la calificación de 5 puntos es la que predomina sobre el resto, apareciendo en 18 de las 26 materias contempladas en el estudio.
- Hay 8 materias (Matemáticas I, Fundamentos de Informática, Materiales Eléctricos y Magnéticos, Electrónica Industrial, Centrales Eléctricas, Oficina Técnica y Administración de Empresas), que representan un 30,77 % del total, en las cuáles nunca se obtuvo la máxima calificación de 10 puntos.
- Según la Tabla 19, la materia que presenta mayor dispersión en las calificaciones es la de Química y la de menor es Oficina Técnica.
- Todas las calificaciones presentan una asimetría positiva, tal como se muestra en la Tabla 20.
- Teniendo en cuenta la concentración de datos alrededor de la media, ver Tabla 20, se observa que la mayoría de las materias tienen una distribución leptocúrtica¹⁰, excepto Fundamentos de Informática, Expresión Gráfica, Química, Matemáticas II, Mecánica de Fluidos y Termodinámica y Construcción Industrial cuya distribución es platicúrtica¹¹.

¹⁰ Mayor grado de apuntamiento que la curva normal, distribuciones que presentan un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

¹¹ Menor grado de apuntamiento que la curva normal, distribuciones que presentan un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

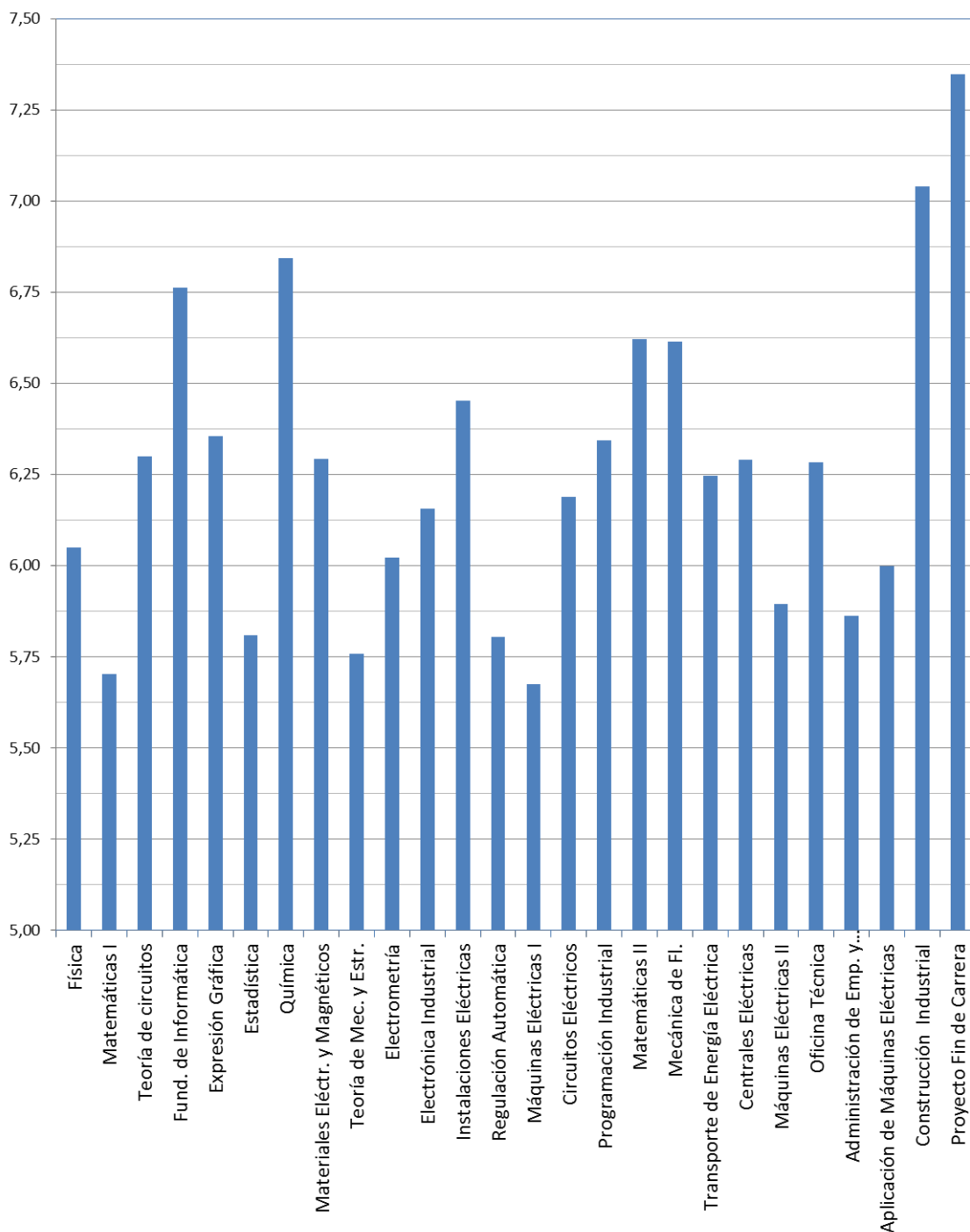


Ilustración 27. Calificaciones medias de las materias.

En la Ilustración 28 se puede comprobar que la calificación media de las materias en cada curso académico es estable para los dos primeros cursos de la titulación, situándose en torno a los 6,2 puntos y aumenta ligeramente en el tercer curso hasta los 6,37 puntos. No se aprecia un rendimiento diferencial significativo de los estudiantes a lo largo de los cursos.

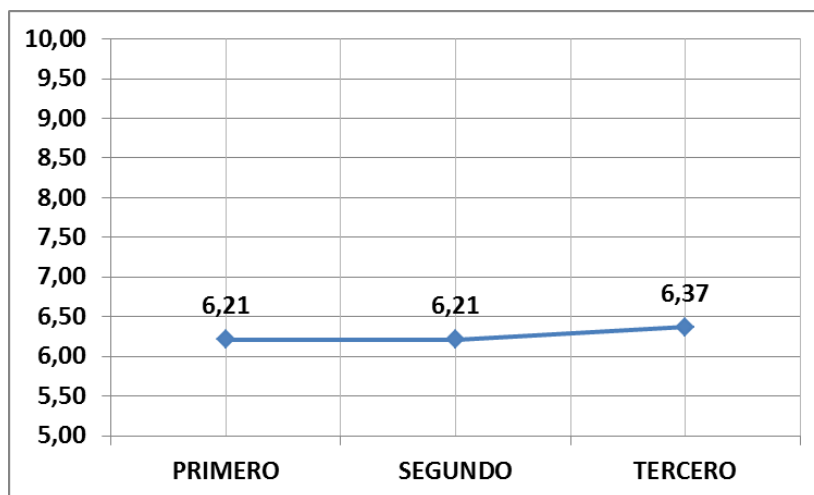


Ilustración 28. Calificaciones medias por curso académico.

4.1.2 Valores atípicos y diagramas boxplot de las calificaciones

En este apartado se representan los diagramas boxplot de cada materia agrupados por cursos, con el objetivo de realizar una comparativa de las calificaciones por curso y detectar los valores atípicos u outliers.

Los diagramas boxplot reflejan los siguientes estadísticos para cada materia: mínimo, máximo, mediana, primer y tercer cuartil.

100

También figuran los datos situados fuera del rango intercuartílico, considerados como outliers o valores atípicos. En este caso los outliers se tendrán en cuenta porque corresponden a calificaciones reales obtenidas por los estudiantes.

Teniendo en cuenta las materias del primer curso, Ilustración 29, se observa que las materias en las cuales se obtienen las calificaciones más bajas son: Matemáticas, Estadística y Teoría de mecanismos y estructuras, estando su rango intercuartílico comprendido entre los 5 y 6 puntos. Las materias que presentan mejores calificaciones son: Química e Informática, en ambas la mediana está situada en los 7 puntos y el rango intercuartílico está entre los 5,5 y 7,5 puntos.

Todas las materias, excepto Informática y Química, presentan outliers que están por encima del límite superior.

En la Ilustración 30, se muestran las calificaciones de las materias del segundo curso en la que se observa que las materias que presentan las calificaciones más bajas son Regulación Automática y Máquinas Eléctricas I, en las cuales el rango intercuartílico está comprendido entre 5 y 6 puntos. Las materias en las que se obtienen las calificaciones más altas son Matemáticas II (rango intercuartílico entre 5,5 y 7,5 puntos) y Mecánica de Fluidos con un rango intercuartílico entre 5,5 y 7,3 puntos.

Todas las materias, excepto Electrometría, Circuitos Eléctricos Matemáticas II y Mecánica de Fluidos, presentan outliers que están por encima del límite superior.

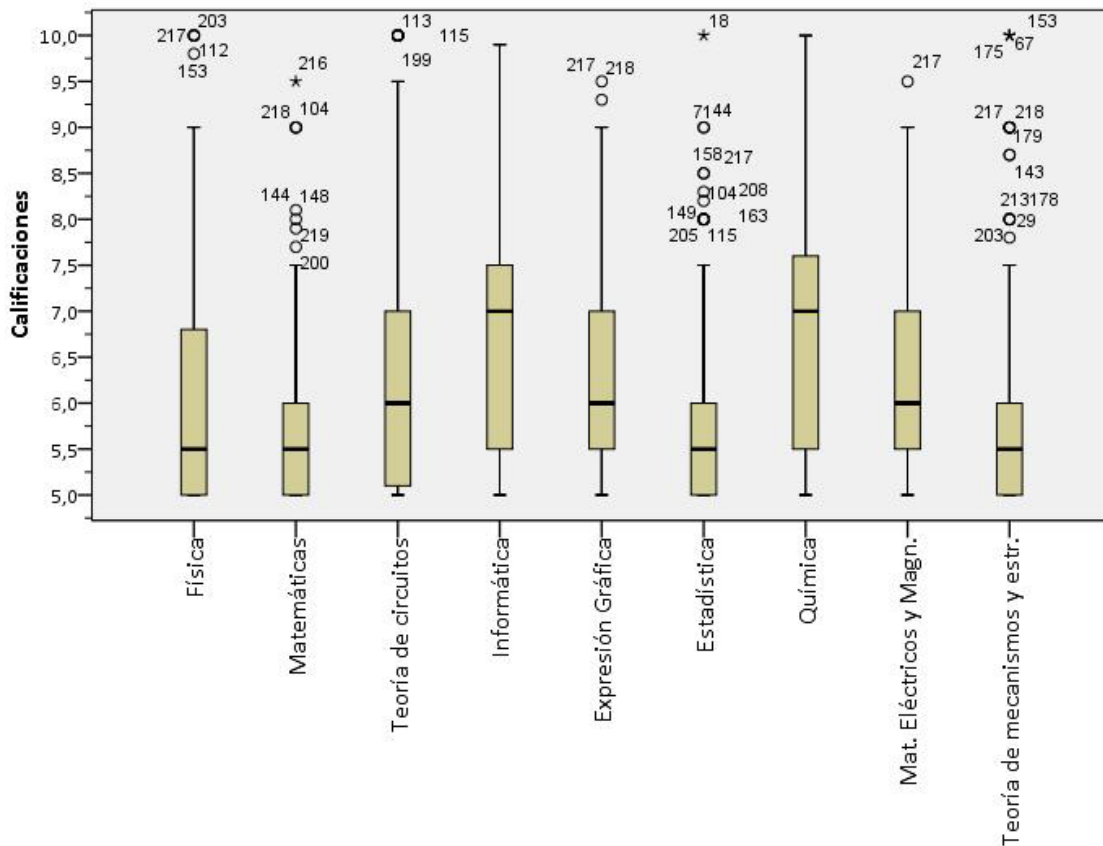


Ilustración 29. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del primer curso.

En la Ilustración 31, se representan las calificaciones de las materias del tercer curso, siendo Administración de Empresas la materia en la que se obtienen calificaciones más bajas, con un rango intercuartílico comprendido entre los 5 y los 6,3 puntos. Le siguen Máquinas Eléctricas II y Aplicación de Máquinas Eléctricas con un rango intercuartílico situado entre los 5 y los 6,65 puntos. Las materias donde se obtienen las calificaciones más altas son las de Construcción, con un rango intercuartílico comprendido entre los 6 y 8 puntos y la del Proyecto Fin de Carrera, que presenta un rango intercuartílico entre los 7 y 8 puntos.

Todas las materias, excepto Transporte de Energía Eléctrica, Centrales Eléctricas y Construcción, presentan outliers que están por encima del límite superior. Destacar que la materia del Proyecto Fin de Carrera es la única en la que los outliers están por debajo del límite inferior.

4.1.3 Test de contraste de normalidad

El test de contraste de normalidad utilizado es el de Kolmogorov Smirnov. Dado que en todas las materias el nivel de significación es igual a cero, se rechaza la hipótesis de normalidad y se concluye que las calificaciones de las materias no responden a una distribución normal, ver Tabla 21.

Materia	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	Grados de libertad	Nivel de significación
Física	0,204	225	0,00
Matemáticas I	0,232	225	0,00
Teoría de circuitos	0,142	225	0,00
Fund. de informática	0,145	225	0,00
Expresión Gráfica	0,231	225	0,00
Estadística	0,179	225	0,00
Química	0,175	225	0,00
Materiales Eléctricos y Mag.	0,262	225	0,00
Teoría de Mecanismos y Estr.	0,219	225	0,00
Electrometría	0,228	225	0,00
Electrónica Industrial	0,112	225	0,00
Instalaciones Eléctricas	0,174	225	0,00
Regulación Automática	0,231	225	0,00
Máquinas Eléctricas I	0,236	225	0,00
Circuitos Eléctricos	0,194	225	0,00
Programación Industrial	0,129	225	0,00
Matemáticas II	0,138	225	0,00
Mecánica de Fluidos y Term.	0,098	225	0,00
Transporte de En. Eléctrica	0,171	225	0,00
Centrales Eléctricas	0,115	225	0,00
Máquinas Eléctricas II	0,204	225	0,00
Oficina Técnica	0,081	225	0,00
Administración de Empresas	0,181	225	0,00
Aplicación de Máq. Eléctricas	0,180	225	0,00
Construcción Industrial	0,168	225	0,00
Proyecto Fin de Carrera	0,108	225	0,00

Tabla 21. Pruebas de normalidad de las calificaciones de cada materia.

4.1.4 Histogramas de las calificaciones de cada materia con la curva normal ajustada

En este apartado se incluyen los histogramas de las calificaciones de cada materia con la curva normal ajustada, que permiten analizar de forma gráfica la distribución de las calificaciones, las pruebas de contraste de normalidad realizadas y la asimetría y curtosis de cada materia.

Se relacionan a continuación las materias y las ilustraciones que representan sus histogramas. La relación es la siguiente:

- Física. Ilustración 32.
- Matemáticas I. Ilustración 33.
- Teoría de circuitos. Ilustración 34.
- Fundamentos de Informática. Ilustración 35.
- Expresión Gráfica. Ilustración 36.
- Estadística. Ilustración 37.
- Química. Ilustración 38.
- Materiales Eléctricos y Magnéticos. Ilustración 39.
- Teoría de Mecanismos y Estructuras. Ilustración 40.
- Electrometría. Ilustración 41.
- Electrónica Industrial. Ilustración 42.
- Instalaciones Eléctricas. Ilustración 43.
- Regulación Automática. Ilustración 44.
- Máquinas Eléctricas I. Ilustración 45.
- Circuitos Eléctricos. Ilustración 46.
- Programación Industrial. Ilustración 47.
- Matemáticas II. Ilustración 48.
- Mecánica de Fluidos y Termodinámica. Ilustración 49.
- Transporte de Energía Eléctrica. Ilustración 50.
- Centrales Eléctricas . Ilustración 51.
- Máquinas Eléctricas II. Ilustración 52.
- Oficina Técnica. Ilustración 53.
- Administración de Empresas y Organización Industrial. Ilustración 54 .
- Aplicación de Máquinas Eléctricas. Ilustración 55.
- Construcción Industrial. Ilustración 56.
- Proyecto Fin de Carrera. Ilustración 57.

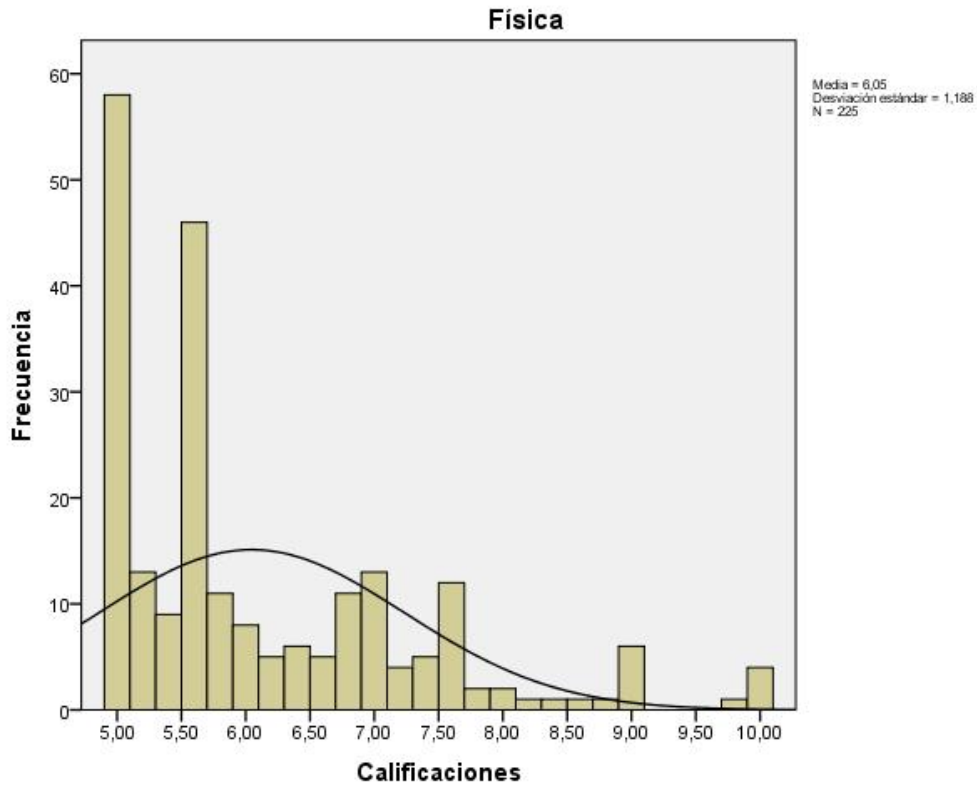


Ilustración 32. Histograma de Física.

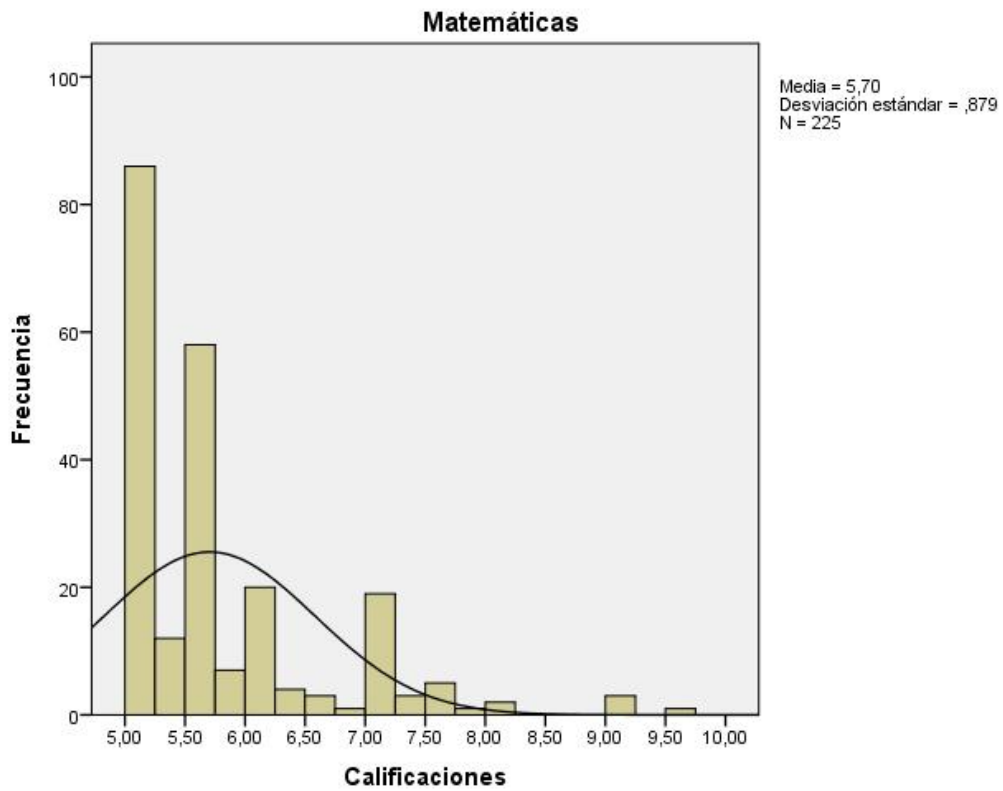


Ilustración 33. Histograma de Matemáticas I.

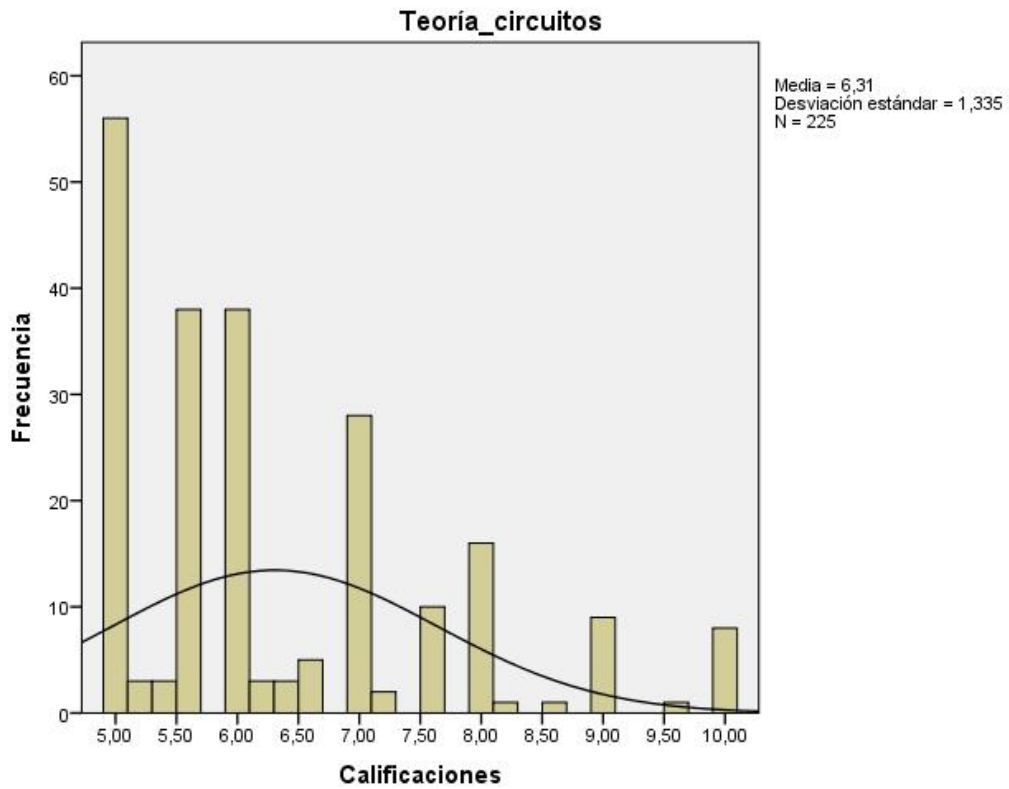


Ilustración 34. . Histograma de Teoría de Circuitos.

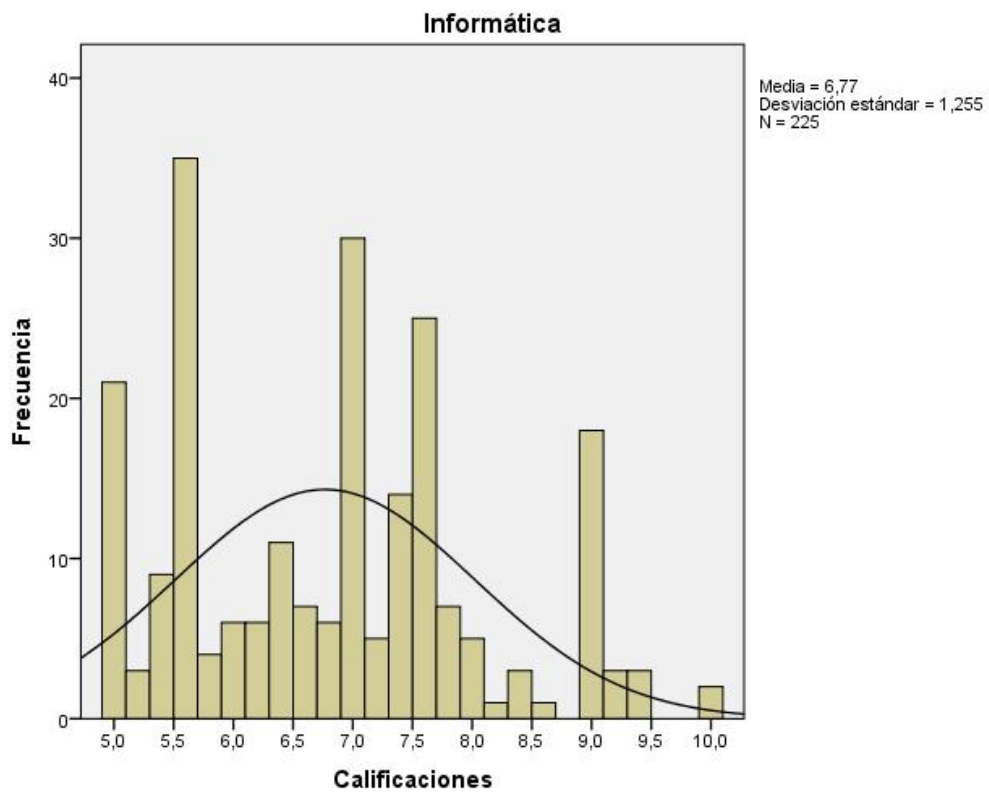


Ilustración 35. Histograma de Informática.

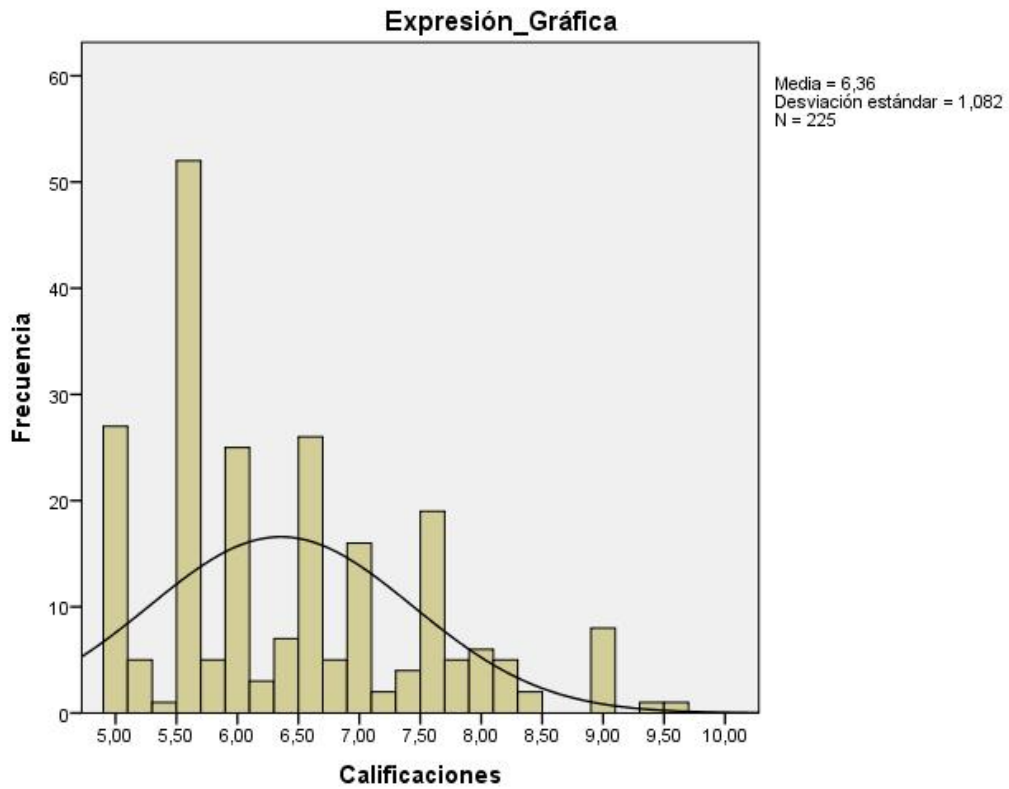


Ilustración 36. Histograma de Expresión Gráfica.

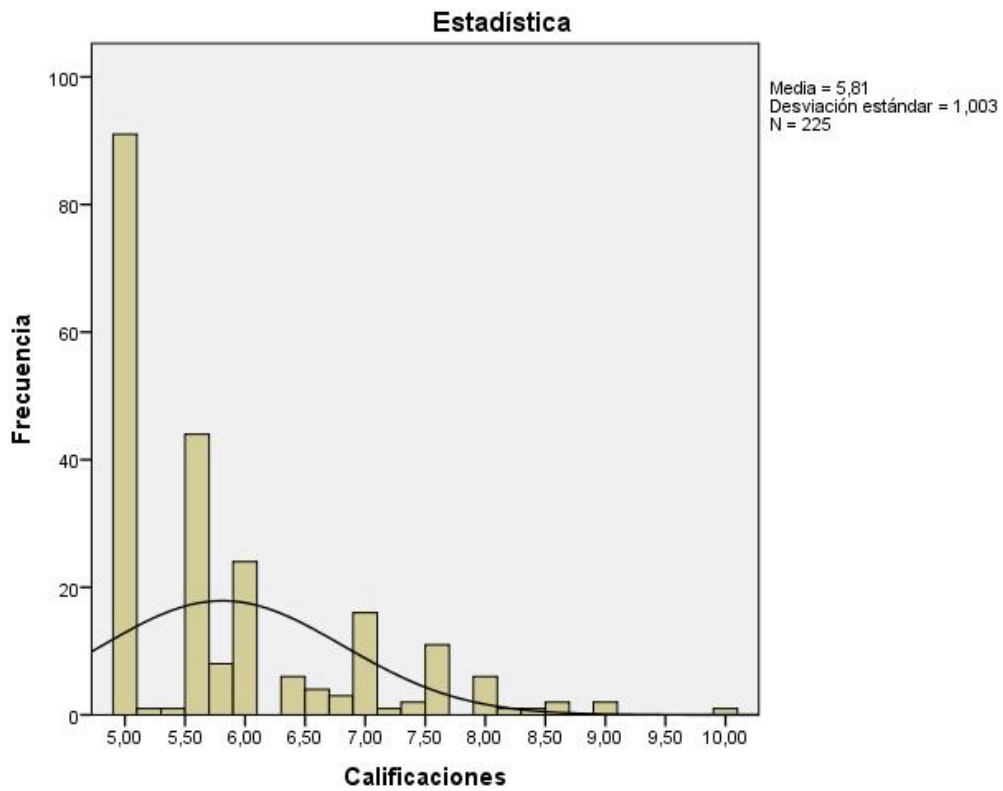


Ilustración 37. Histograma de Estadística.

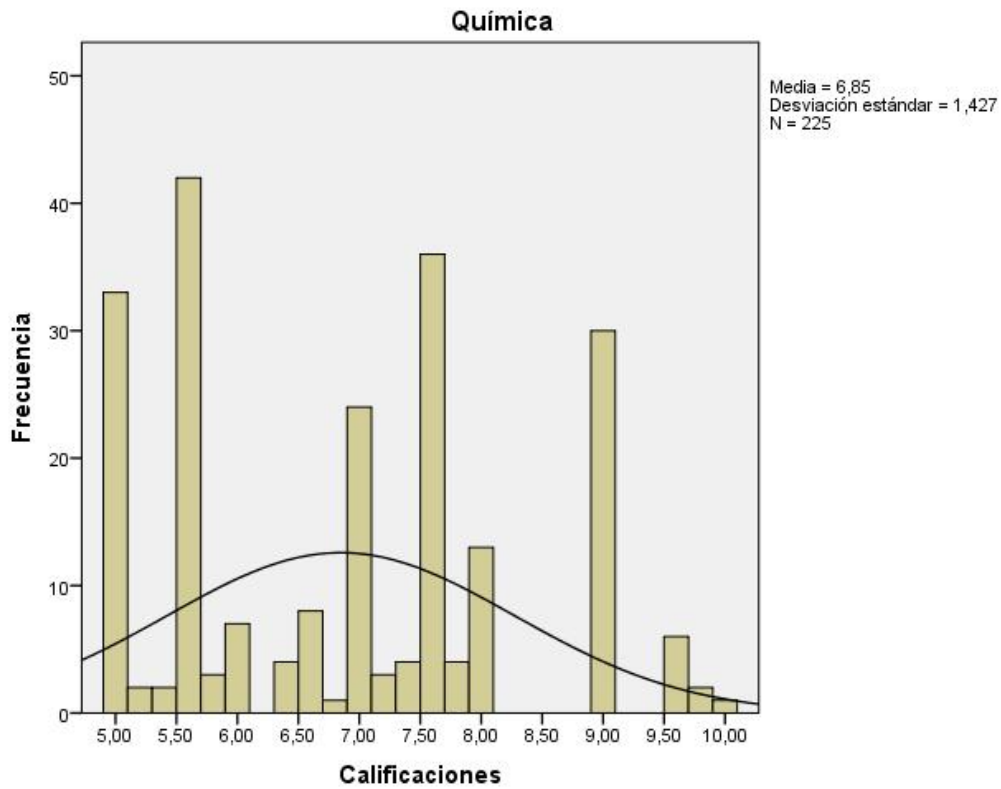


Ilustración 38. Histograma de Química.

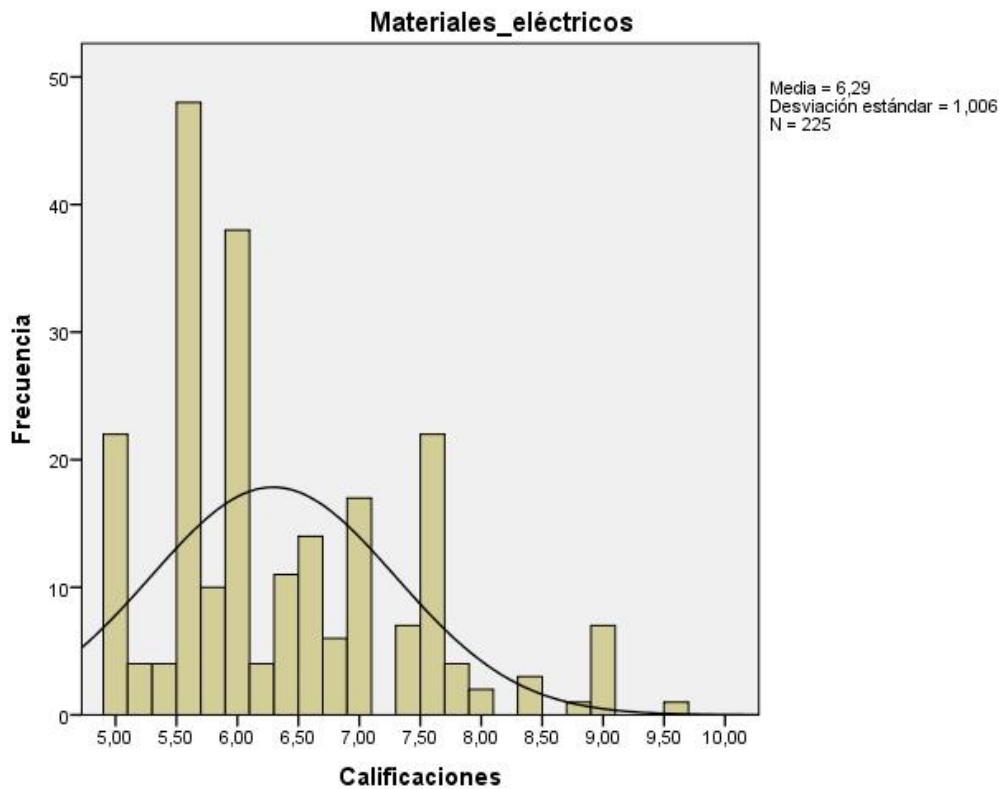


Ilustración 39. Histograma de Materiales Eléctricos y Magnéticos.

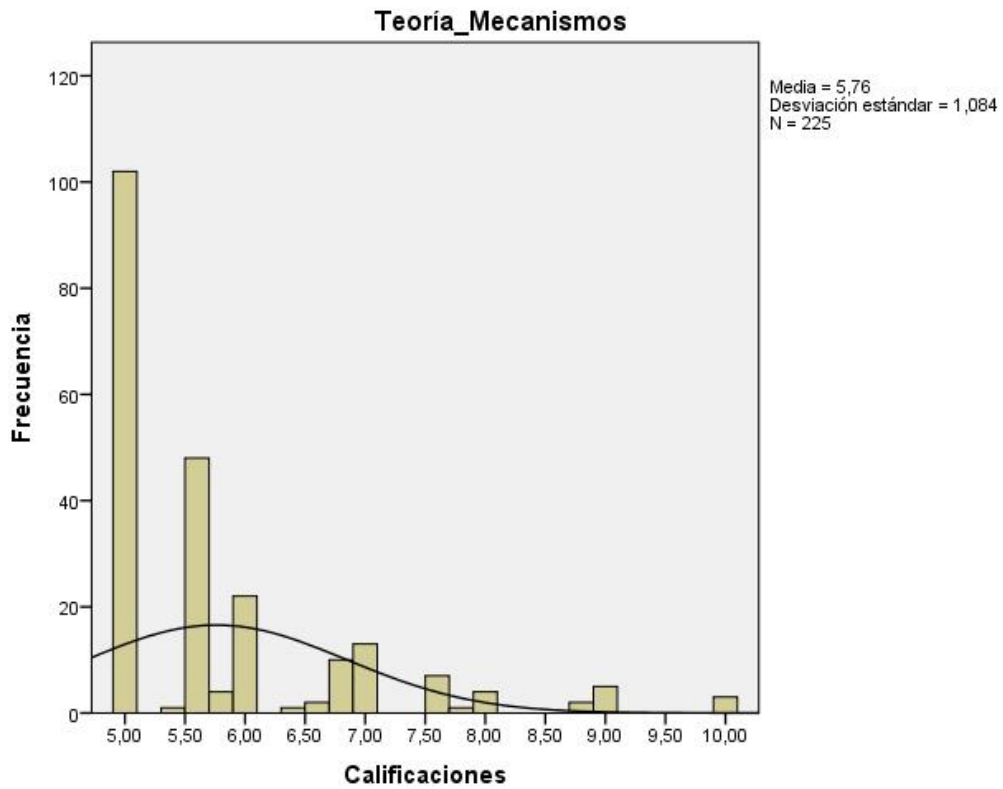


Ilustración 40. Histograma de Teoría de Mecanismos.

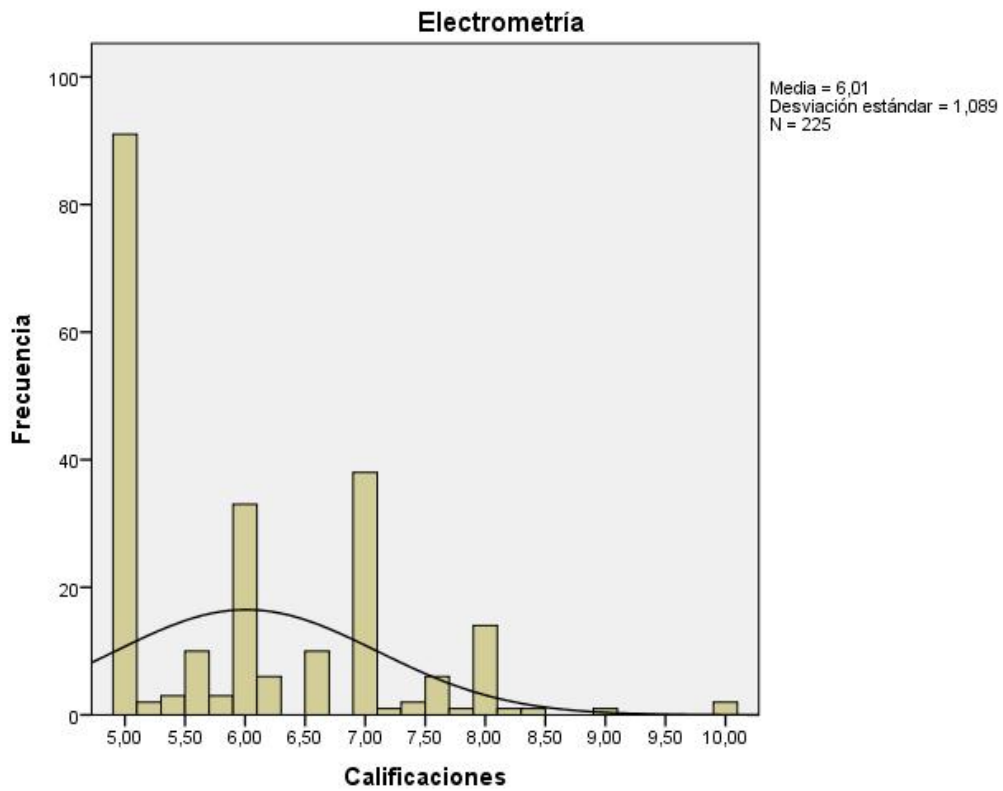


Ilustración 41. Histograma de Electrometría.

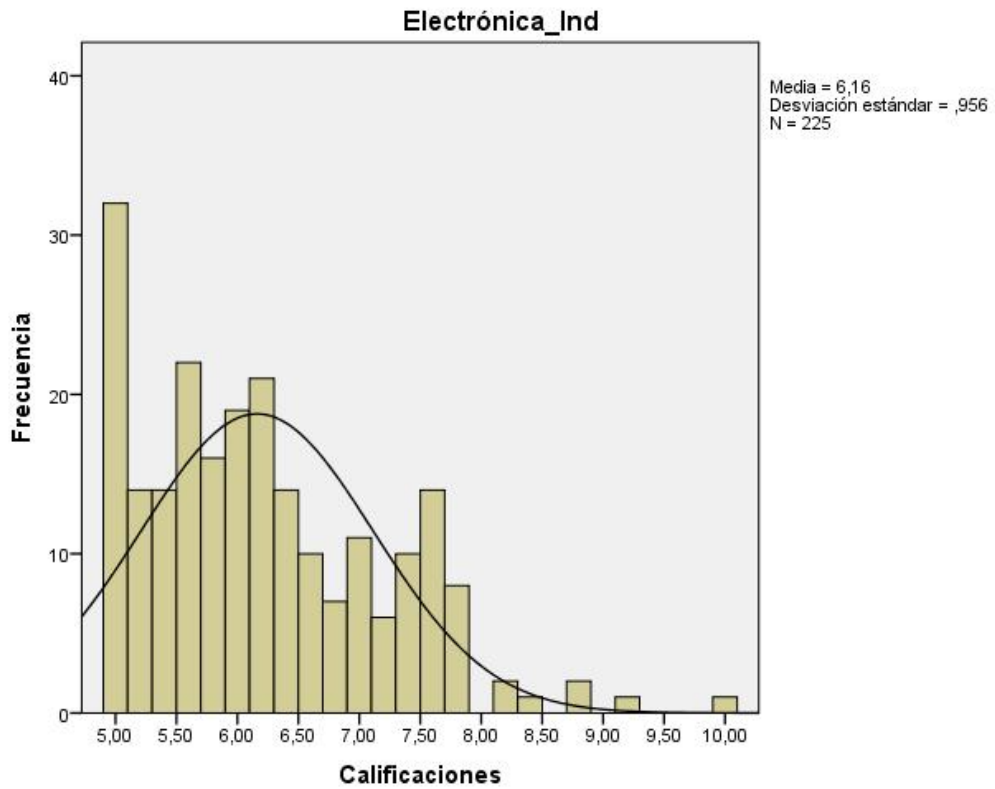


Ilustración 42. Histograma de Electrónica Industrial.

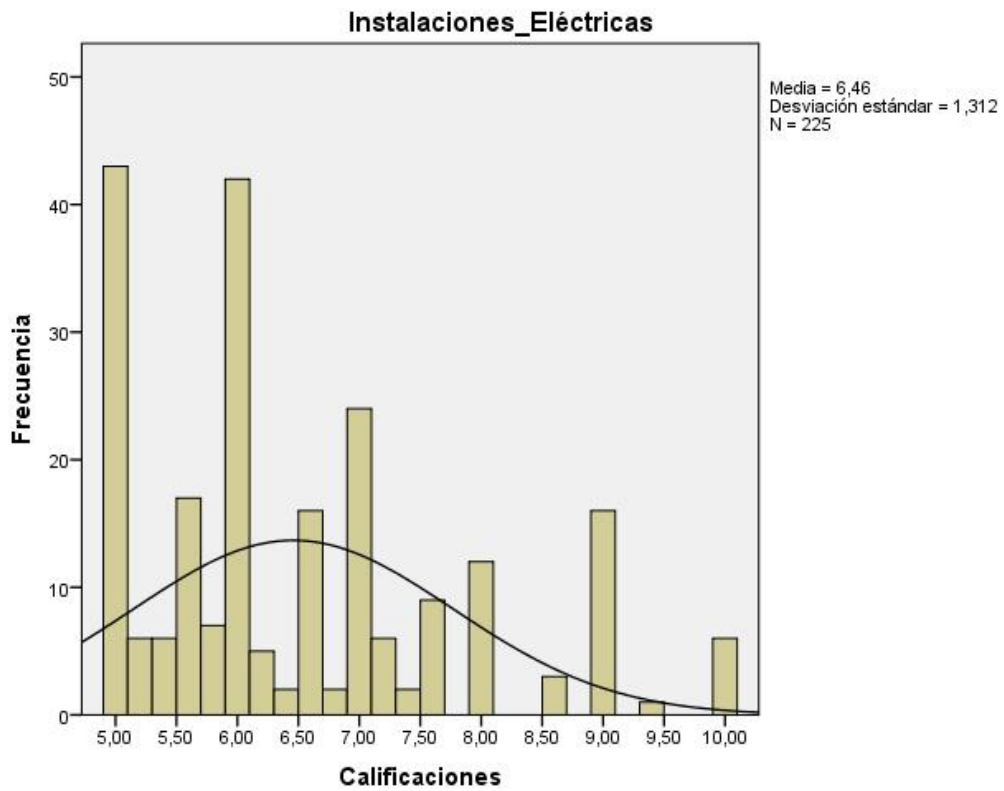


Ilustración 43. Histograma de Instalaciones Eléctricas.

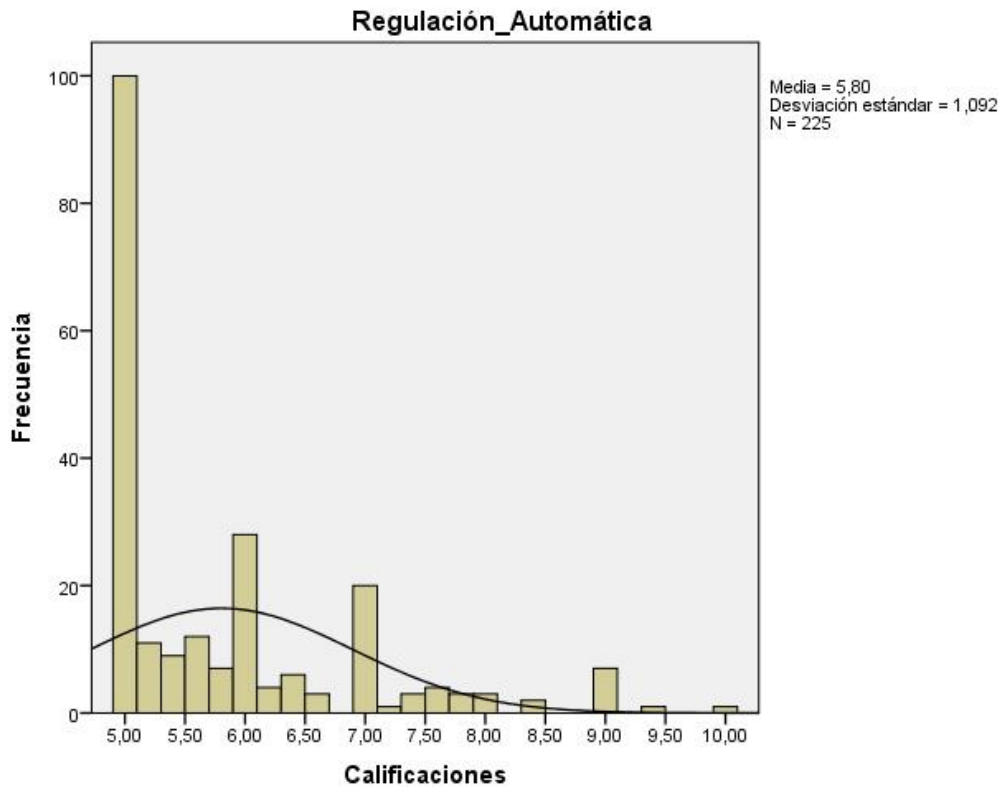


Ilustración 44. Histograma de Regulación Automática.

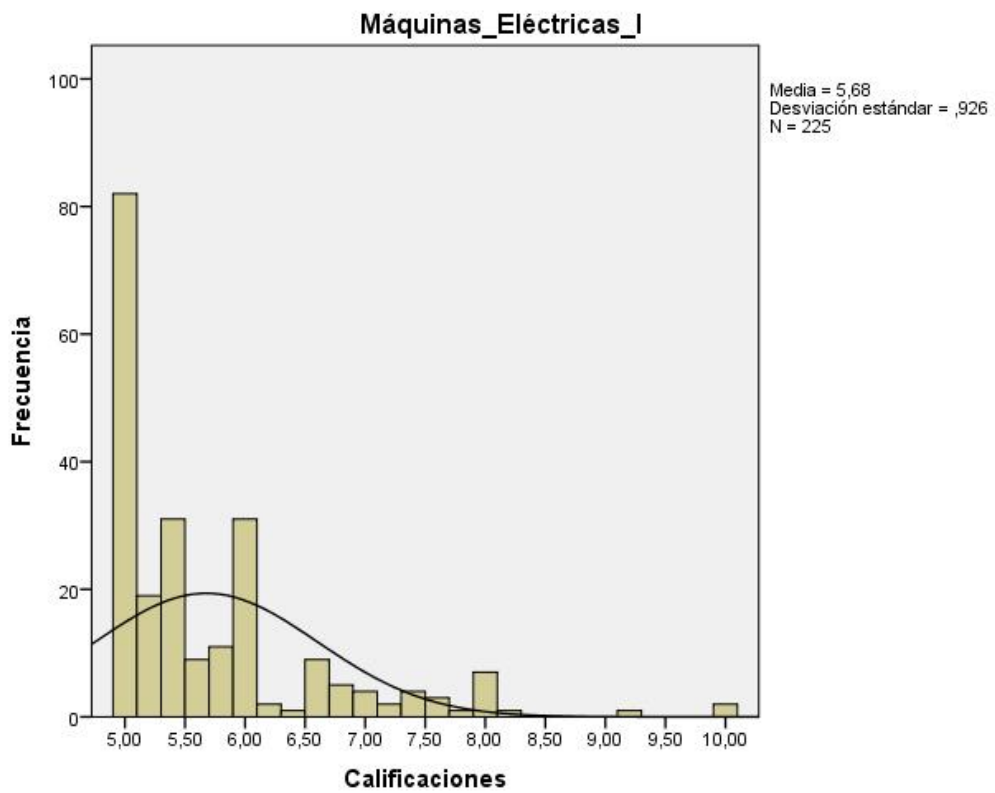


Ilustración 45. Histograma de Máquinas Eléctricas I.

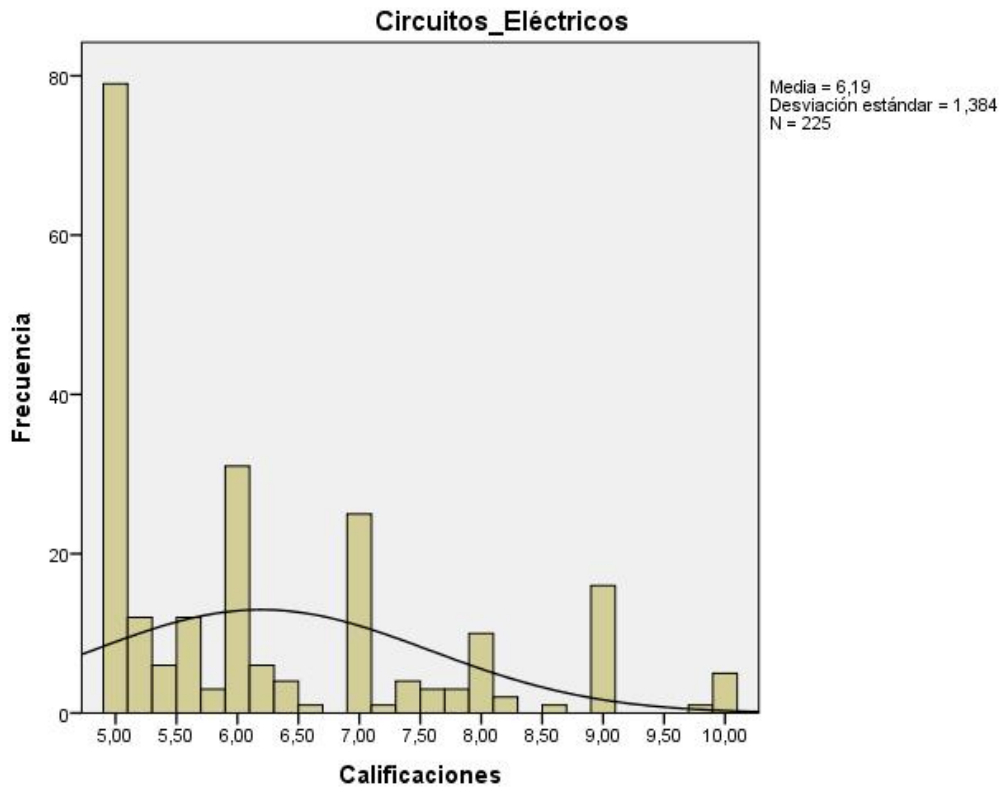


Ilustración 46. Histograma de Circuitos Eléctricos.

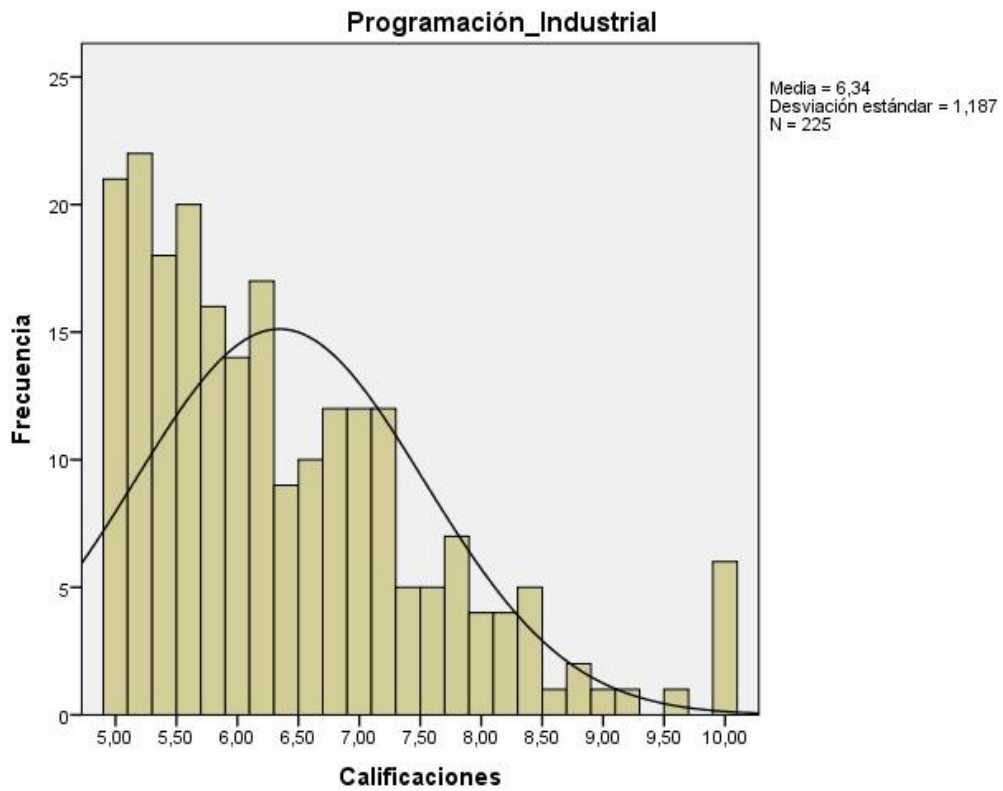


Ilustración 47. Histograma de Programación Industrial.

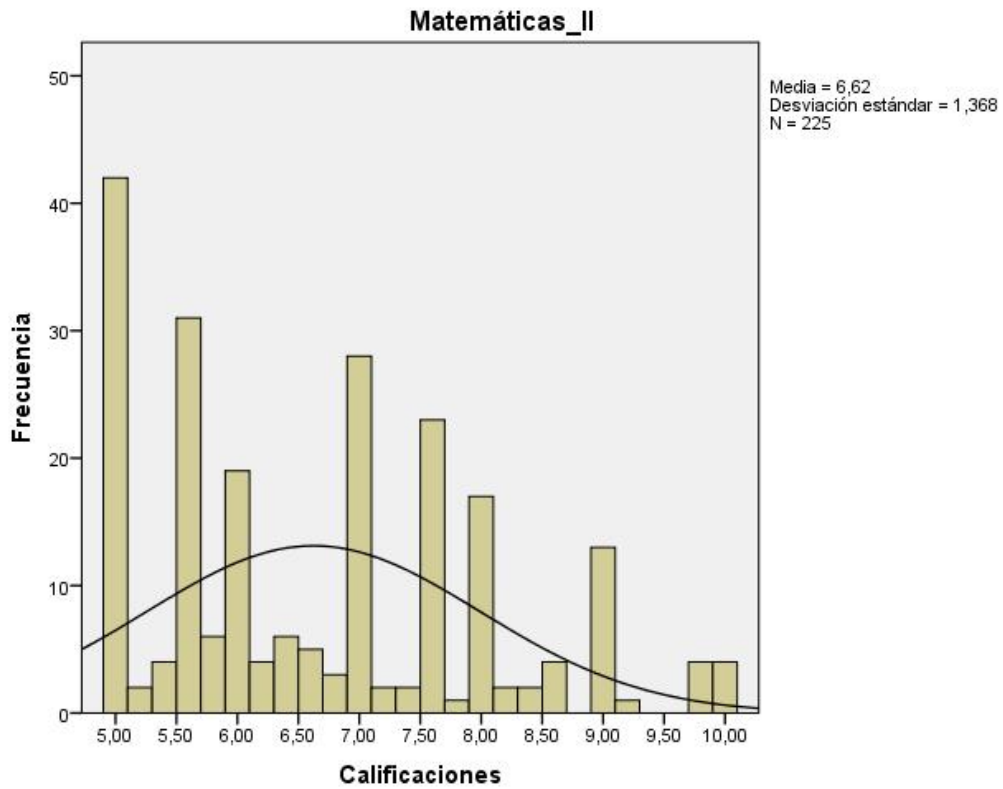


Ilustración 48. Histograma de Matemáticas II.

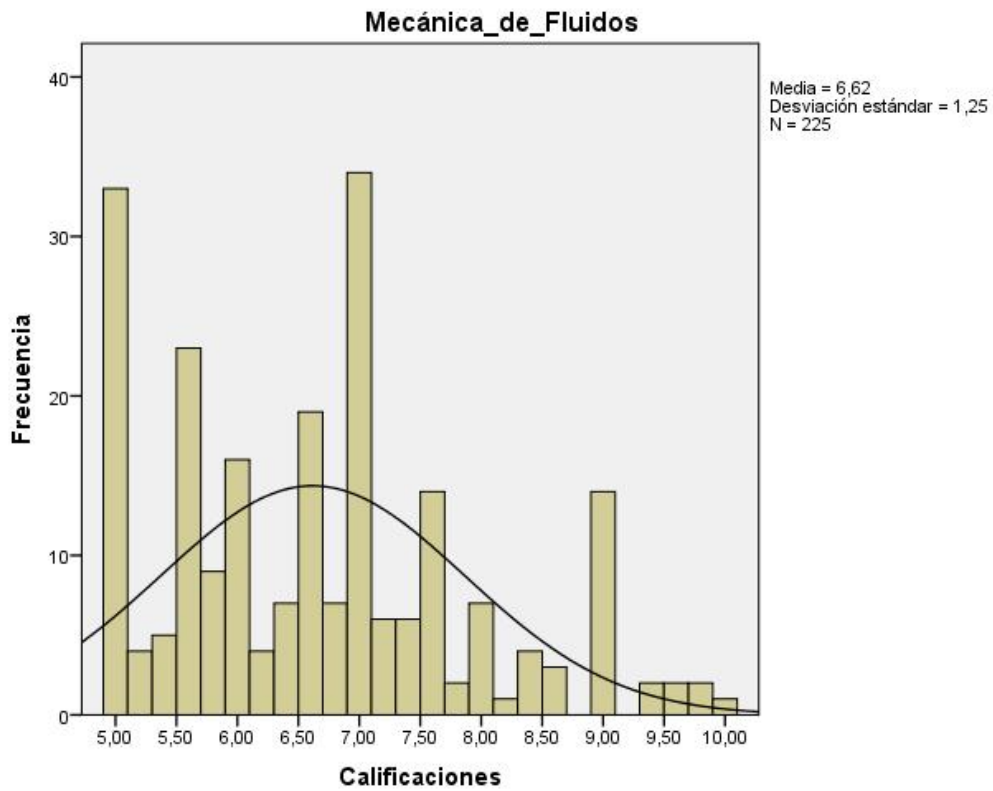


Ilustración 49. Histograma de Mecánica de Fluidos.

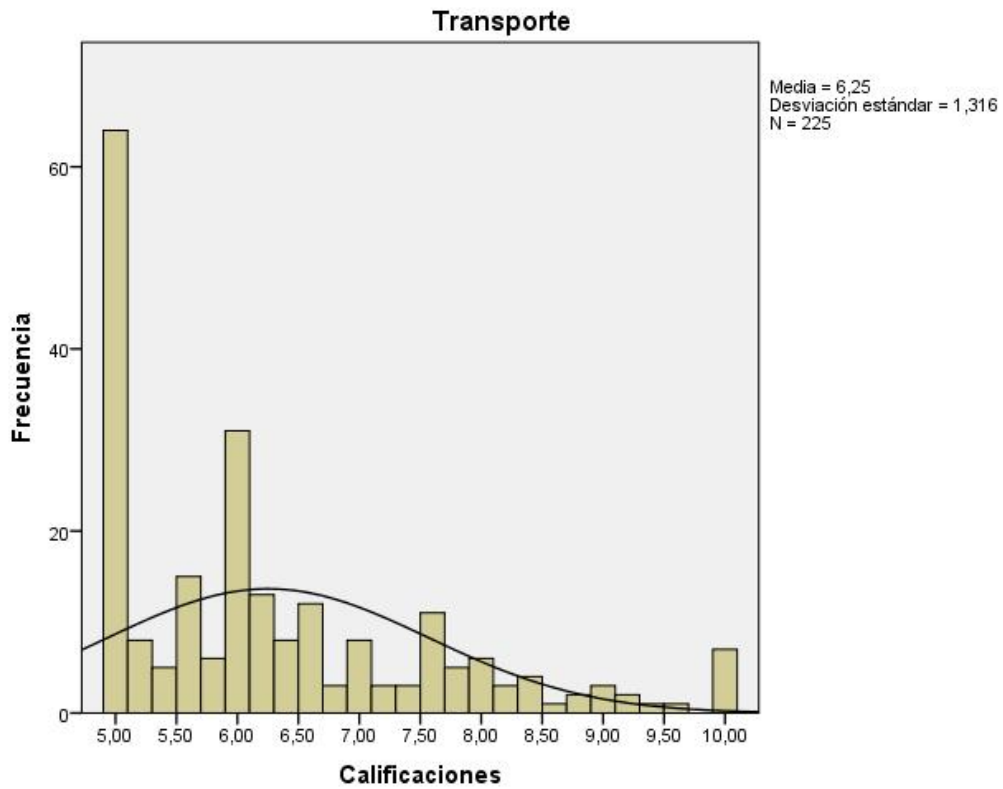


Ilustración 50. Histograma de Transporte de Energía Eléctrica.

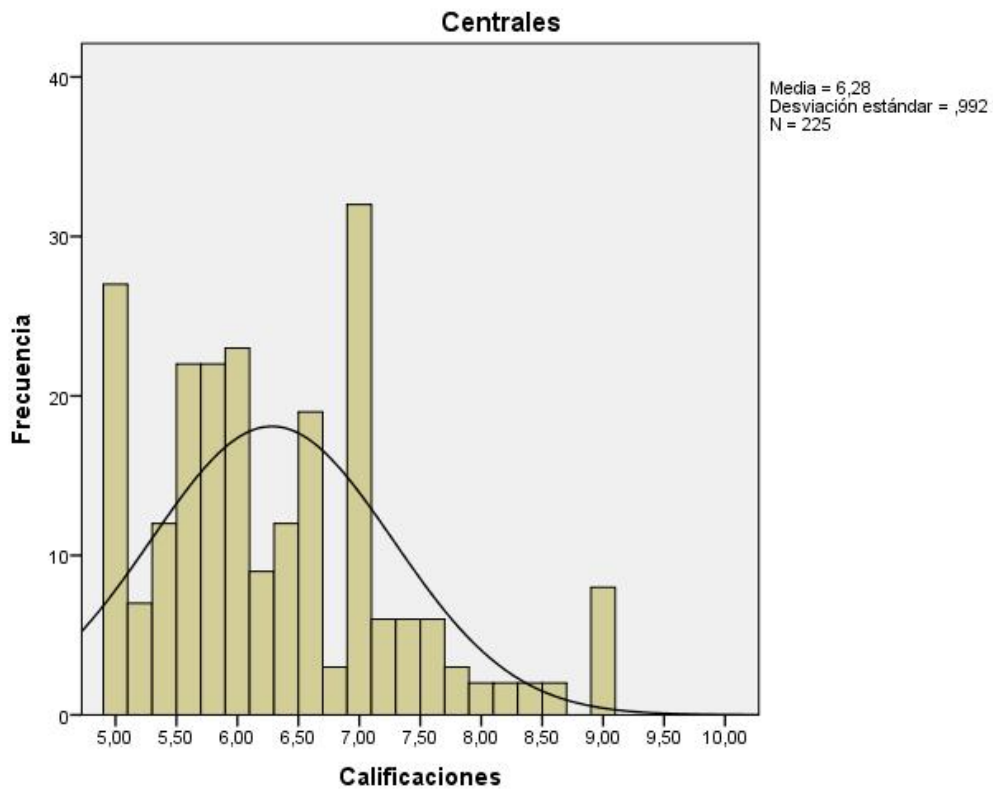


Ilustración 51. Histograma de Centrales Eléctricas.

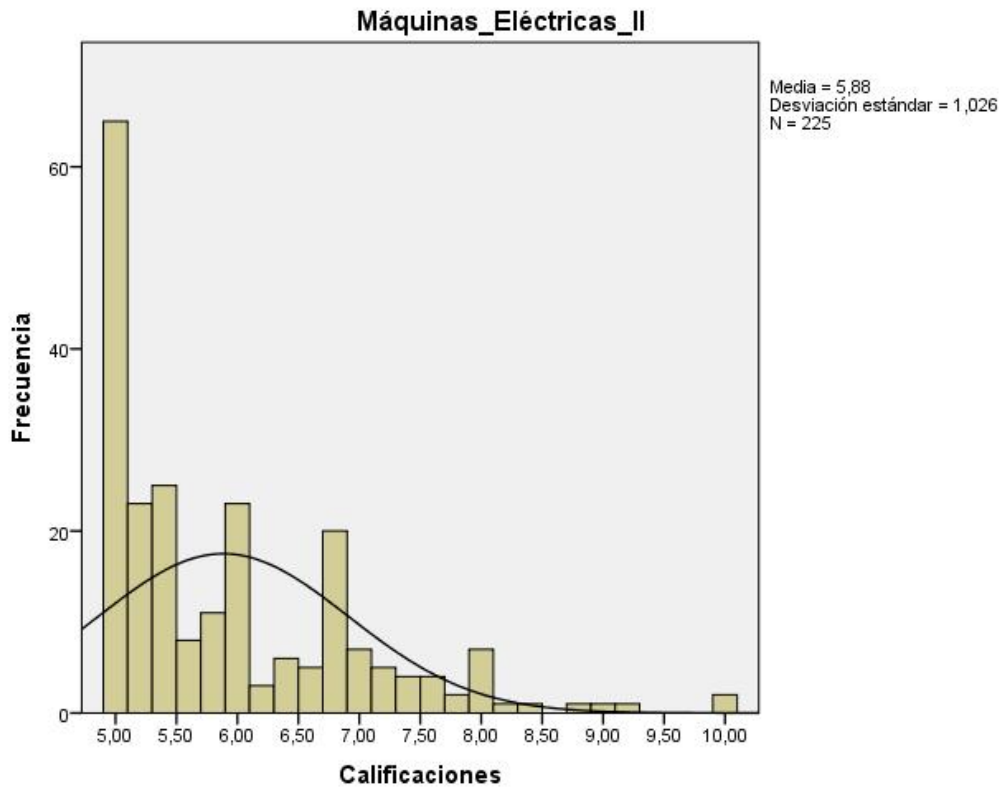


Ilustración 52. Histograma de Máquinas Eléctricas II.

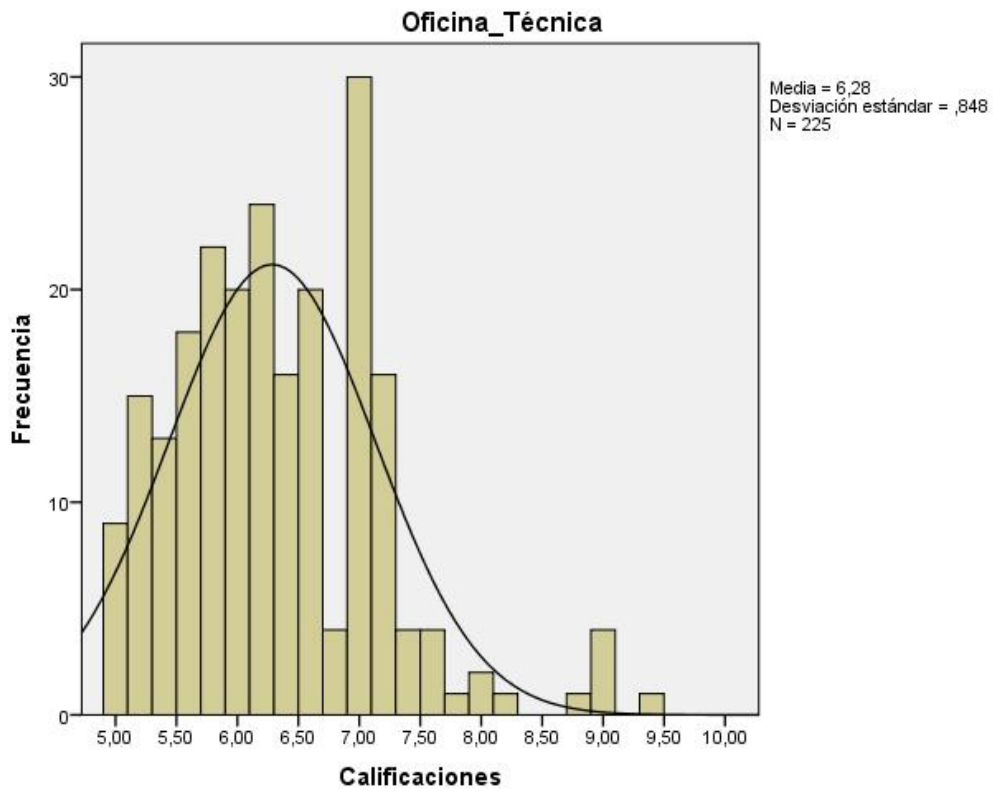


Ilustración 53. Histograma de Oficina Técnica.

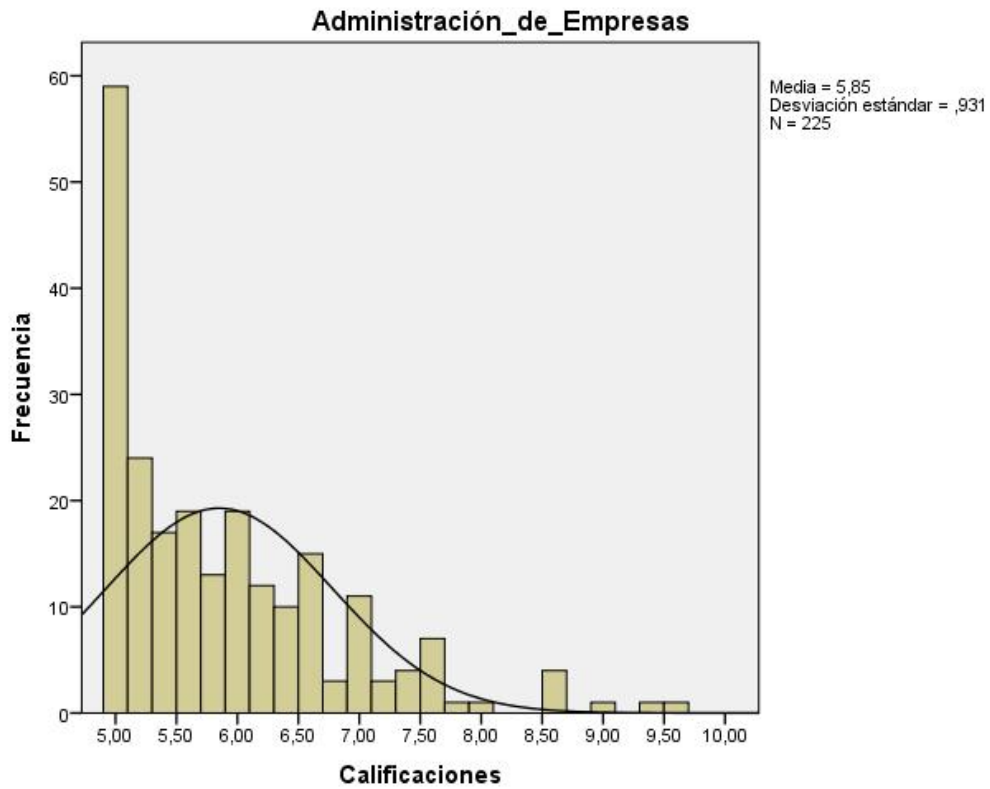


Ilustración 54. Histograma de Administración de Empresas y Organización Industrial.

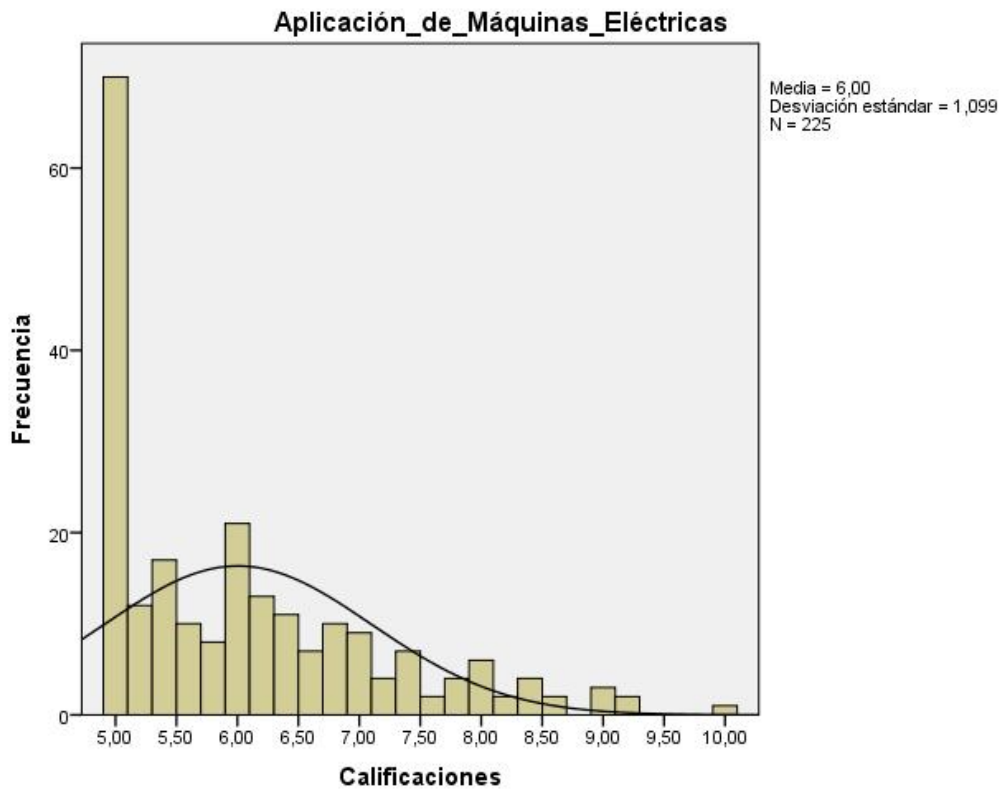


Ilustración 55. Histograma de Aplicación de Máquinas Eléctricas.

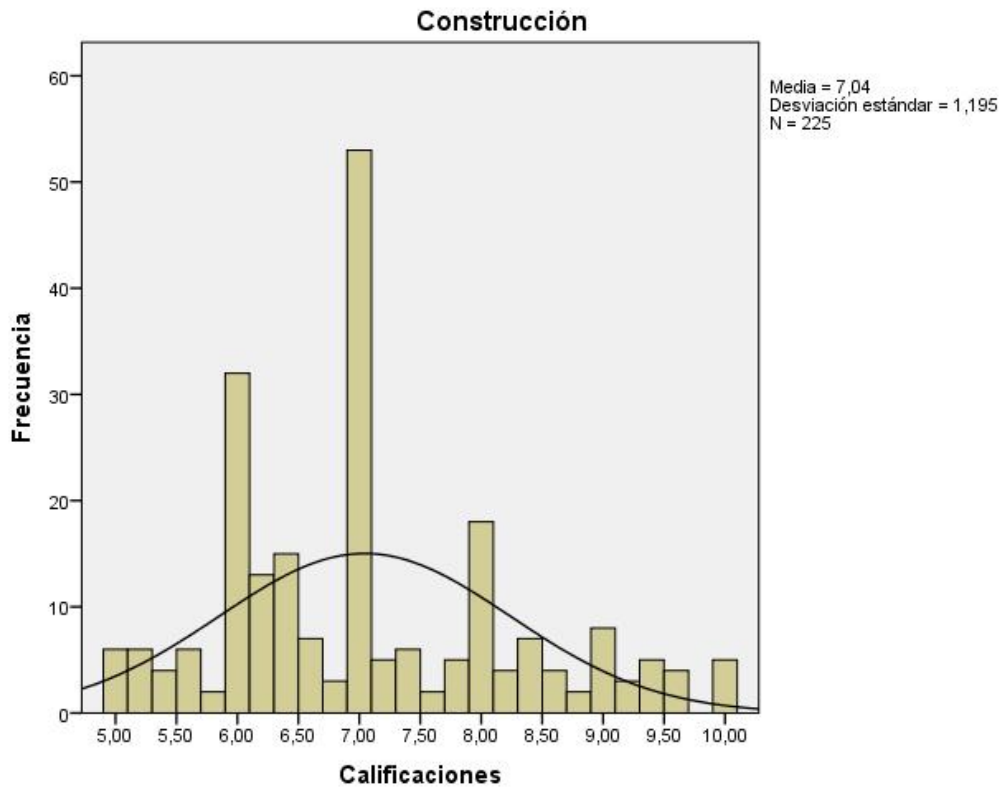


Ilustración 56. Histograma de Construcción.

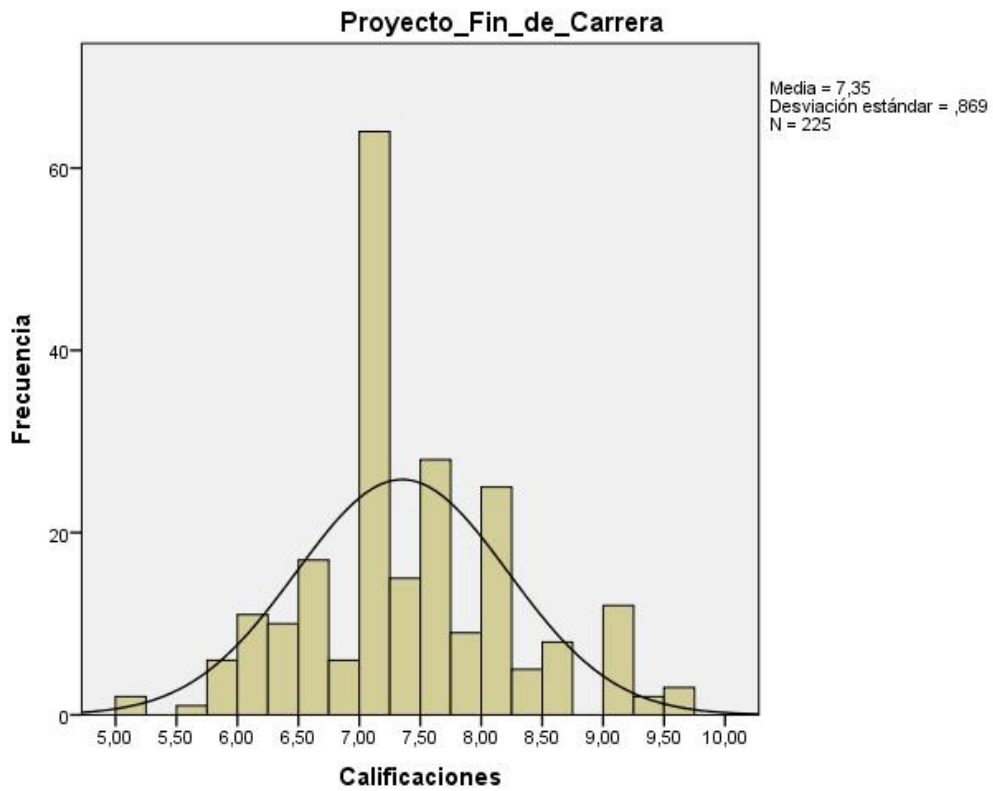


Ilustración 57. Histograma del Proyecto Fin de Carrera.

4.2 Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial

En la Tabla 22 se muestran las materias que conforman el plan de estudios de ITI, Electrónica. Se incluye la totalidad de las materias del plan de estudios con su duración en créditos y tipo anual o cuatrimestral [153].

Curso	Asignatura	Tipo	Duración
Primero	Física	Troncal – Anual	12
	Matemáticas I	Troncal – Anual	12
	Teoría de circuitos	Troncal – Anual	7,5
	Fund. de Informática	Troncal – 2º cuatrimestre	6
	Expresión Gráfica	Troncal – 1º cuatrimestre	7,5
	Tecnología Electrónica	Troncal – Anual	9
	Estadística	Troncal – 2º cuatrimestre	6
	Química	Obligatoria – 1º cuatrimestre	6
	Sistemas Mecánicos	Troncal – 2º cuatrimestre	6
Segundo	Regulación Automática	Troncal – Anual	10,5
	Electrónica Analógica	Troncal – 1º cuatrimestre	7,5
	Electrónica Digital	Troncal – 1º cuatrimestre	7,5
	Diseño de Sistemas Electrónicos Dig.	Obligatoria – Anual	9
	Sistemas Eléctricos	Obligatoria – 2º cuatrimestre	6
	Programación Industrial	Obligatoria – 2º cuatrimestre	6
	Sistemas Oleoneumáticos	Obligatoria – 2º cuatrimestre	4,5
	Matemáticas II	Obligatoria – 1º cuatrimestre	6
Tercero	Informática Industrial	Troncal – Anual	10,5
	Automatización Industrial	Troncal – Anual	10,5
	Instrumentación Electrónica	Troncal – Anual	11
	Oficina Técnica	Troncal – 2º cuatrimestre	7,5
	Administración de Empresas y Org. Ind.	Troncal – 2º cuatrimestre	6
	Electrónica de Potencia	Troncal – 1º cuatrimestre	7,5
	Tecnología Energética	Obligatoria – 1º cuatrimestre	4,5
	Proyecto Fin de Carrera	Troncal – 2º cuatrimestre	6
Optativas	Ampliación de Química	Optativa	4,5
	Autómatas Programables	Optativa	4,5
	Control de Procesos por Computador	Optativa	4,5
	Control Electrónico de Máq. Eléctricas	Optativa	4,5
	Dibujo industrial II	Optativa	4,5
	Domótica	Optativa	6
	Facturación de Energía Eléctrica	Optativa	4,5
	Física de Polímeros	Optativa	6
	Gestión de Aprovisionamiento	Optativa	6
	Ingeniería y Gestión del Medio Amb.	Optativa	4,5
	Inglés	Optativa	4,5
	Máquinas Térmicas	Optativa	4,5
	Sistemas de Climatización	Optativa	6
	Técnicas Avanzadas de Control	Optativa	4,5
	Tecnología de Materiales Compuestos	Optativa	4,5
Transmisión de Calor	Optativa	4,5	

Tabla 22. Plan de estudios de ITI, Electrónica.

4.2.1 Análisis descriptivo de las calificaciones de los estudiantes en cada materia

El análisis se realiza sobre las calificaciones obtenidas por los estudiantes en el momento de superar cada materia, sin tener en cuenta las convocatorias utilizadas. No se analizan las calificaciones de las materias optativas porque no todos los estudiantes cursan las mismas.

En la Tabla 23 se muestran las medidas estadísticas de posición (media, mediana y moda) de las calificaciones de las materias cursadas por los estudiantes.

Curso	Materia	Media	Mediana	Moda
Primero	Física	6,22	5,50	5,50
	Matemáticas I	5,83	5,50	5,50
	Teoría de circuitos	5,93	5,50	5,00
	Fund. De Informática	6,61	6,10	5,50
	Expresión Gráfica	6,16	6,00	5,50
	Tecnología Electrónica	6,18	5,50	5,50
	Estadística	5,87	5,50	5,00
	Química	6,85	7,00	5,50
Segundo	Sistemas Mecánicos	5,71	5,50	5,00
	Regulación Automática	5,87	5,50	5,00
	Electrónica Analógica	6,35	6,00	5,50
	Electrónica Digital	6,11	5,65	5,00
	Diseño de Sistemas Electrónicos	6,80	6,60	5,50
	Sistemas Eléctricos	6,08	5,80	5,50
	Programación Industrial	5,99	5,50	5,00
	Sistemas Oleoneumáticos	7,09	7,00	7,00
Tercero	Matemáticas II	6,54	6,20	5,50
	Informática Industrial	5,86	5,50	5,00
	Automatización Industrial	5,94	6,00	6,00
	Instrumentación Electrónica	5,96	5,50	5,00
	Oficina Técnica	6,30	6,15	7,00
	Administración de Empresas y Org. Ind.	6,51	6,20	5,00
	Electrónica de Potencia	6,37	6,00	5,00
	Tecnología Energética	6,20	5,85	5,00
Proyecto Fin de Carrera	7,69	7,50	7,00	

Tabla 23. Medidas estadísticas de posición de las materias cursadas por los estudiantes.

En la Tabla 24 se muestran las medidas estadísticas de dispersión (varianza, desviación típica, rango y valores mínimo y máximo) de las calificaciones de las materias cursadas por los estudiantes.

Curso	Materia	Varianza	Desviación típica	Rango	Mínimo	Máximo
Primero	Física	1,41	1,19	4,60	5,00	9,60
	Matemáticas I	0,83	0,91	4,20	5,00	9,20
	Teoría de circuitos	1,16	1,08	5,00	5,00	10,00
	Fund. de Informática	1,54	1,24	5,00	5,00	10,00
	Expresión Gráfica	0,96	0,98	4,20	5,00	9,20
	Tecnología Electrónica	1,48	1,22	5,00	5,00	10,00
	Estadística	1,00	1,00	5,00	5,00	10,00
	Química	1,88	1,37	5,00	5,00	10,00
	Sistemas Mecánicos	0,90	0,95	5,00	5,00	10,00
Segundo	Regulación Automática	1,08	1,04	4,50	5,00	9,50
	Electrónica Analógica	1,75	1,32	5,00	5,00	10,00
	Electrónica Digital	1,50	1,22	5,00	5,00	10,00
	Diseño de Sistemas Electrónicos	2,27	1,51	5,00	5,00	10,00
	Sistemas Eléctricos	0,98	0,99	5,00	5,00	10,00
	Programación Industrial	1,21	1,10	4,50	5,00	9,50
	Sistemas Oleoneumáticos	1,45	1,21	4,50	5,00	9,50
	Matemáticas II	1,91	1,38	5,00	5,00	10,00
Tercero	Informática Industrial	1,11	1,05	5,00	5,00	10,00
	Automatización Industrial	0,43	0,66	4,30	5,00	9,30
	Instrumentación Electrónica	1,30	1,14	5,00	5,00	10,00
	Oficina Técnica	0,80	0,89	4,00	5,00	9,00
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	1,41	1,19	4,60	5,00	9,60
	Electrónica de Potencia	2,11	1,45	5,00	5,00	10,00
	Tecnología Energética	1,32	1,15	4,50	5,00	9,50
	Proyecto Fin de Carrera	1,29	1,13	5,00	5,00	10,00

Tabla 24. Medidas estadísticas de dispersión de las materias cursadas por los estudiantes.

En la Tabla 25 se muestran las medidas estadísticas de forma (asimetría y curtosis) de las calificaciones de las materias cursadas por los estudiantes.

Curso	Materia	Curtosis	Coefficiente de asimetría
Primero	Física	-0,05	1,00
	Matemáticas I	0,82	1,28
	Teoría de circuitos	1,35	1,38
	Fund. De Informática	-0,69	0,68
	Expresión Gráfica	-0,06	0,89
	Tecnología Electrónica	0,48	1,16
	Estadística	1,37	1,36
	Química	-0,67	0,48
	Sistemas Mecánicos	3,67	1,88
Segundo	Regulación Automática	0,90	1,29
	Electrónica Analógica	0,61	1,09
	Electrónica Digital	0,81	1,18
	Diseño de Sistemas Electrónicos	-0,85	0,49
	Sistemas Eléctricos	1,70	1,34
	Programación Industrial	0,57	1,17
	Sistemas Oleoneumáticos	-1,03	0,06
	Matemáticas II	-0,59	0,66
Tercero	Informática Industrial	1,33	1,36
	Automatización Industrial	3,59	1,20
	Instrumentación Electrónica	1,20	1,30
	Oficina Técnica	0,85	0,91
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	-0,44	0,63
	Electrónica de Potencia	-0,34	0,87
	Tecnología Energética	-0,55	0,69
	Proyecto Fin de Carrera	-0,61	-0,05

Tabla 25. Medidas estadísticas de forma de las materias cursadas por los estudiantes.

Como resultado del análisis de la información de la Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25, se extraen las siguientes observaciones:

- Teniendo en cuenta las calificaciones medias, ver Tabla 23 e Ilustración 58, se puede observar que solamente las materias de Sistemas Oleoneumáticos (7,09) y Proyecto Fin de Carrera (7,69) alcanzan una calificación media de Notable. Hay otras cinco materias que superan los 6,5 puntos de media, pero no alcanzan el Notable, éstas son Fundamentos de Informática (6,61), Química (6,85), Diseño de Sistemas Electrónicos (6,8), Matemáticas II (6,54) y Administración de Empresas (6,51). Las materias en las que los estudiantes alcanzan las calificaciones más bajas son Sistemas Mecánicos (5,71) y Matemáticas I (5,83).
- Si se analiza la puntuación que más se repite en las calificaciones, se comprueba que la calificación de 5 puntos es la que más se utiliza, aparece en 11 de las 25 materias contempladas en el estudio. Indicar que la siguiente calificación que más se repite es la de 5,5 puntos, figurando en 10 materias.

- Hay 10 materias (Física, Matemáticas I, Expresión Gráfica, Regulación Automática, Programación Industrial, Sistemas Oleoneumáticos, Automatización Industrial, Oficina Técnica, Administración de Empresas y Tecnología Energética, que representan un 40 % del total, en las cuáles nunca se obtuvo la máxima calificación de 10 puntos.
- Según la Tabla 24, la materia que presenta mayor dispersión en las calificaciones es la de Diseño de Sistemas Electrónicos y la de menor es Automatización Industrial.
- Todas las calificaciones presentan una asimetría positiva, excepto la materia del Proyecto Fin de Carrera, tal como se muestra en la Tabla 25.
- Teniendo en cuenta la concentración de datos alrededor de la media, ver Tabla 25, hay 14 materias que presentan una distribución leptocúrtica¹², destacando por encima de las demás Sistemas Mecánicos y Automatización Industrial. Las restantes 11 materias tienen una distribución platicúrtica¹³, destacando sobre el resto Sistemas Oleoneumáticos.

¹² Mayor grado de apuntamiento que la curva normal, distribuciones que presentan un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

¹³ Menor grado de apuntamiento que la curva normal, distribuciones que presentan un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

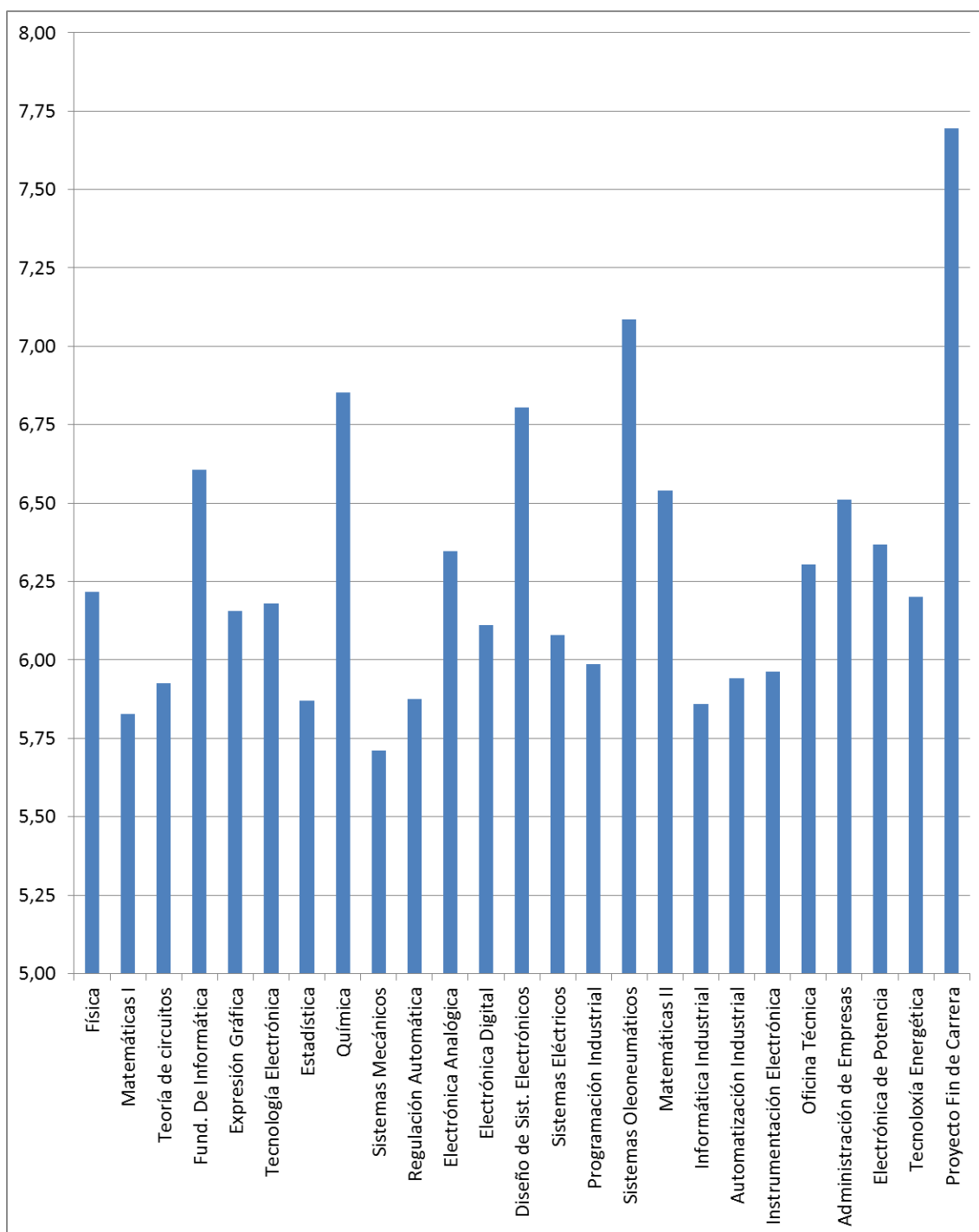


Ilustración 58. Calificaciones medias de las materias.

En la Ilustración 59 se comprueba que la calificación media de las materias en cada curso académico es ligeramente inferior en primero y estable en segundo y tercero, situándose en torno a los 6,3 puntos.

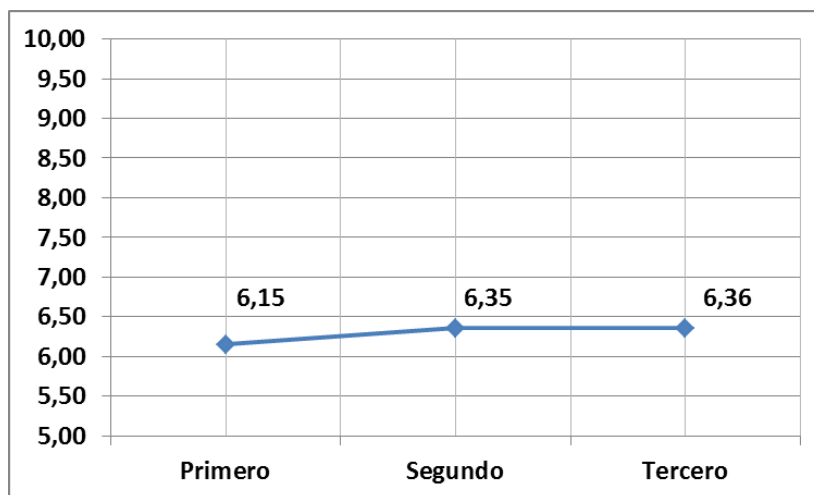


Ilustración 59. Calificaciones medias por curso académico

4.2.2 Valores atípicos y diagramas boxplot

En este apartado se representan los diagramas boxplot de cada materia agrupados por cursos, con el objetivo de realizar una comparativa por curso y detectar los valores atípicos u “outliers”.

Los diagramas boxplot reflejan los siguientes estadísticos para cada materia: mínimo, máximo, mediana, primer y tercer cuartil.

124

También figuran los datos situados fuera del rango intercuartílico, considerados como outliers o valores atípicos. En este caso los outliers se tendrán en cuenta debido a que corresponden a calificaciones reales obtenidas por los estudiantes.

Teniendo en cuenta las materias del primer curso, Ilustración 60, se observa que la materia correspondiente al primer curso en la se obtienen las calificaciones más bajas es Sistemas Mecánicos , estando su rango intercuartílico comprendido entre los 5 y 6 puntos. Las materias que presentan mejores calificaciones son: Química e Informática, en ambas el rango intercuartílico está entre los 5,5 y 7,5 puntos.

Todas las materias, excepto Informática, Expresión Gráfica y Química presentan outliers que están por encima del límite superior.

En la Ilustración 61, se muestran las calificaciones de las materias del segundo curso en la que se observa que la materia que presenta las calificaciones más bajas es Regulación Automática, con un rango intercuartílico comprendido entre 5 y 6,42 puntos. Las materias en las que se obtienen las calificaciones más altas son Sistemas Oleoneumáticos (rango intercuartílico entre 6 y 8 puntos) y Diseño de Sistemas Electrónicos con un rango intercuartílico comprendido entre 5,5 y 8 puntos.

Solamente tres materias presentan outliers que están por encima del límite superior, éstas son Regulación Automática, Sistemas Eléctricos y Programación Industrial.

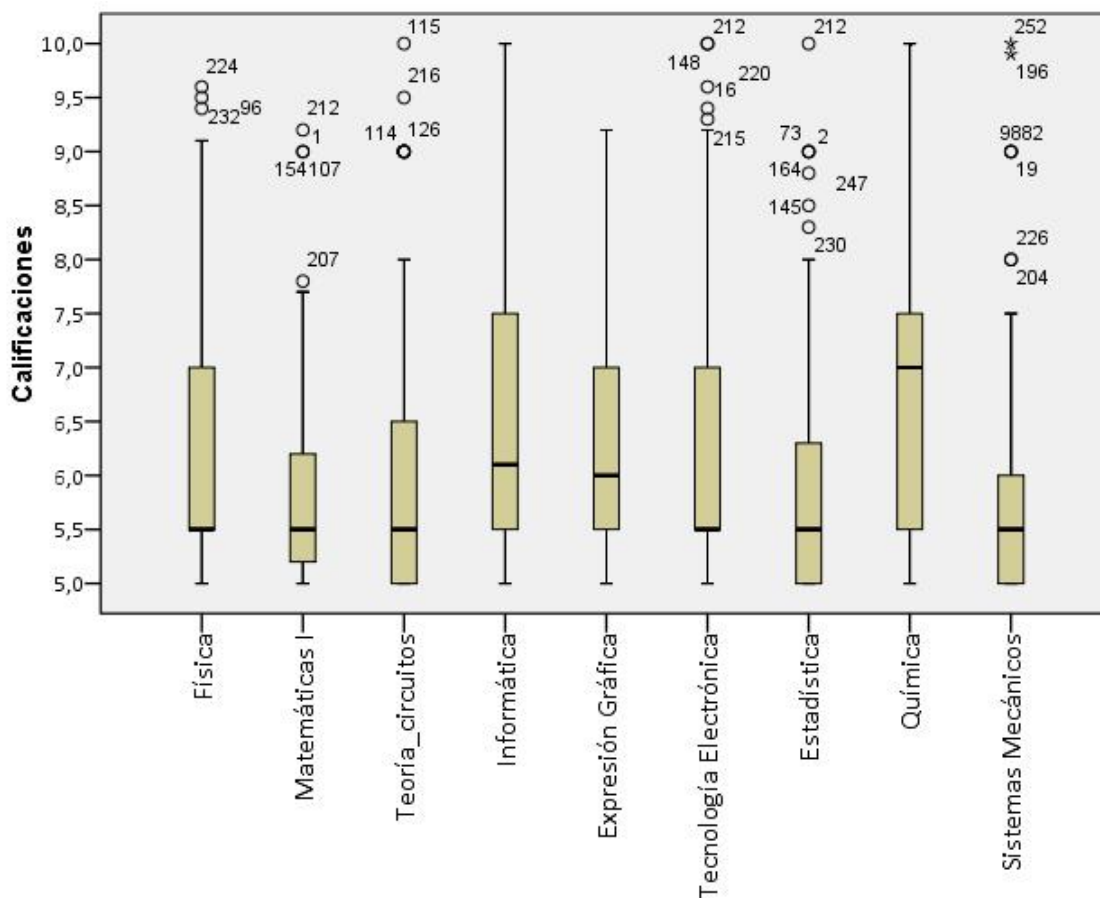


Ilustración 60. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del 1^{er} curso.

En la Ilustración 62, se representan las calificaciones de las materias del tercer curso, siendo Informática Industrial la materia en la que se obtienen calificaciones más bajas, con un rango intercuartílico comprendido entre los 5 y los 6,4 puntos. La materia donde se obtienen las calificaciones más altas es en la de Proyecto Fin de Carrera, con un rango intercuartílico comprendido entre los 7 y 8,6 puntos.

Solamente las materias de Informática Industrial, Automatización e Instrumentación Electrónica, presentan outliers que están por encima del límite superior.

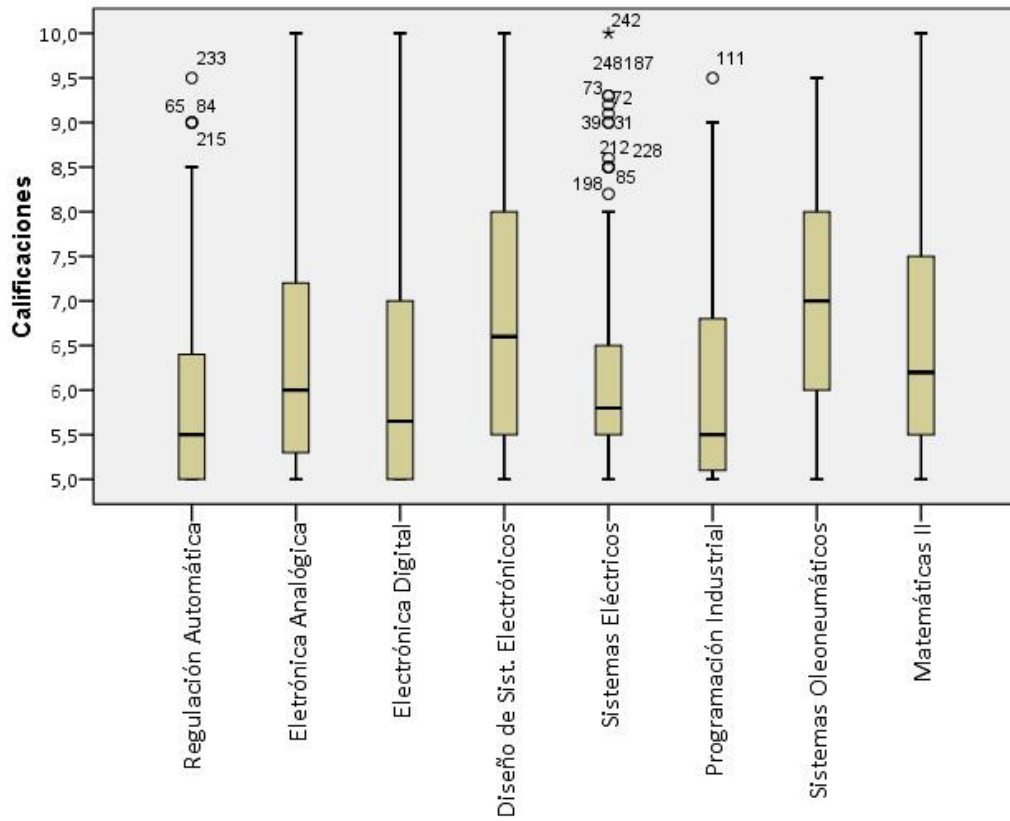


Ilustración 61. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del 2º curso.

126

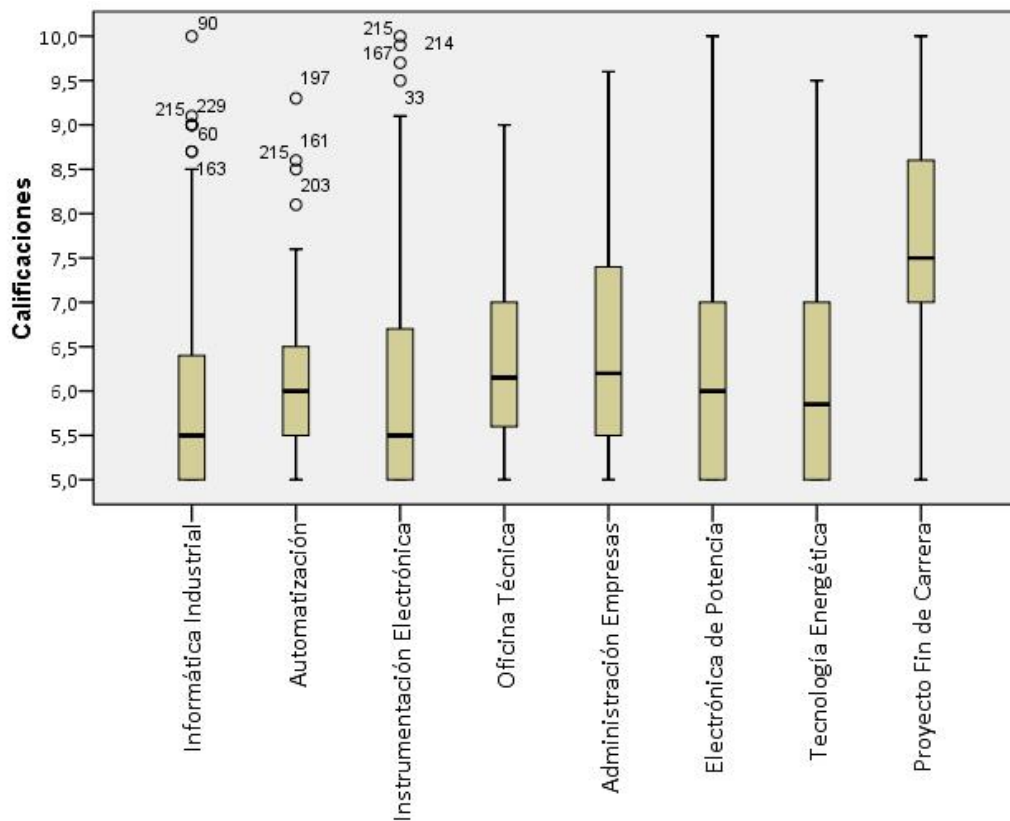


Ilustración 62. Diagrama boxplot de las calificaciones de las materias del 3er curso.

4.2.3 Test de contraste de normalidad

El test de contraste de normalidad utilizado es el de Kolmogorov Smirnov. Dado que en todas las materias el nivel de significación es igual a cero, se rechaza la hipótesis de normalidad y se concluye que las calificaciones de las materias no responden a una distribución normal, ver Tabla 26.

Materia	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	Grados de libertad	Nivel de significación
Física	0,255	254	0,00
Matemáticas I	0,298	254	0,00
Teoría de circuitos	0,260	254	0,00
Fund. de Informática	0,199	254	0,00
Expresión Gráfica	0,229	254	0,00
Tecnología Electrónica	0,259	254	0,00
Estadística	0,278	254	0,00
Química	0,165	254	0,00
Sistemas Mecánicos	0,320	254	0,00
Regulación Automática	0,204	254	0,00
Electrónica Analógica	0,200	254	0,00
Electrónica Digital	0,182	254	0,00
Diseño de Sistemas Electrónicos	0,185	254	0,00
Sistemas Eléctricos	0,162	254	0,00
Programación Industrial	0,230	254	0,00
Sistemas Oleoneumáticos	0,127	254	0,00
Matemáticas II	0,215	254	0,00
Informática Industrial	0,207	254	0,00
Automatización Industrial	0,204	254	0,00
Instrumentación Electrónica	0,199	254	0,00
Oficina Técnica	0,090	254	0,00
Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,108	254	0,00
Electrónica de Potencia	0,183	254	0,00
Tecnología Energética	0,160	254	0,00
Proyecto Fin de Carrera	0,084	254	0,00

Tabla 26. Pruebas de contraste de normalidad de las calificaciones de cada materia.

4.2.4 Histogramas de las calificaciones de cada materia con la curva normal ajustada

A continuación se incluyen los histogramas de las calificaciones de cada materia con la curva normal ajustada, que permiten analizar de forma gráfica la distribución de las calificaciones, las pruebas de contraste de normalidad realizadas y la asimetría y curtosis de cada materia.

Se relacionan a continuación las materias y las ilustraciones que representan sus histogramas. La relación es la siguiente:

- Física. Ilustración 63.
- Matemáticas I. Ilustración 64.
- Teoría de circuitos. Ilustración 65.
- Fundamentos de Informática. Ilustración 66.
- Expresión Gráfica. Ilustración 67.
- Tecnología electrónica . Ilustración 68.
- Estadística. Ilustración 69.
- Química. Ilustración 70.
- Sistemas Mecánicos. Ilustración 71.
- Regulación Automática. Ilustración 72.
- Electrónica Analógica. Ilustración 73.
- Electrónica Digital. Ilustración 74.
- Diseño de Sistemas Electrónicos Digitales. Ilustración 75.
- Sistemas Eléctricos. Ilustración 76.
- Programación Industrial. Ilustración 77.
- Sistemas Oleoneumáticos. Ilustración 78.
- Matemáticas II. Ilustración 79.
- Informática Industrial. Ilustración 80.
- Automatización Industrial. Ilustración 81.
- Instrumentación Electrónica. Ilustración 82.
- Oficina Técnica. Ilustración 83.
- Administración de Empresas y Organización Industrial. Ilustración 84.
- Electrónica de Potencia. Ilustración 85.
- Tecnología Energética. Ilustración 86.
- Proyecto Fin de Carrera. Ilustración 87.

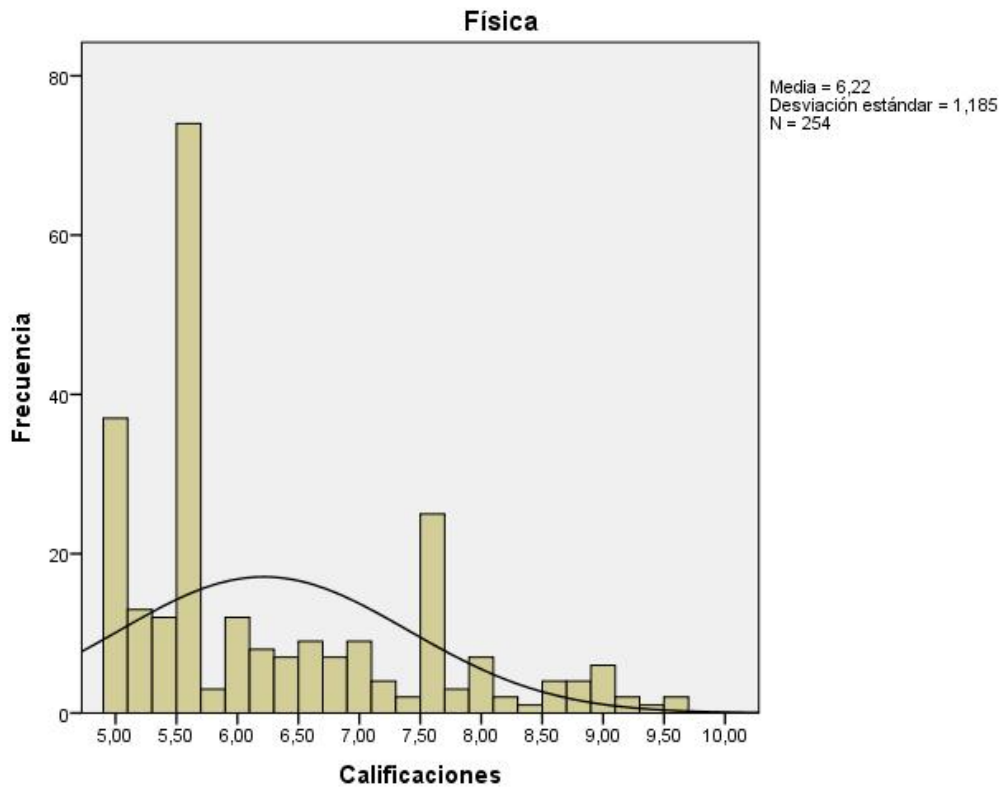


Ilustración 63. Histograma de Física.

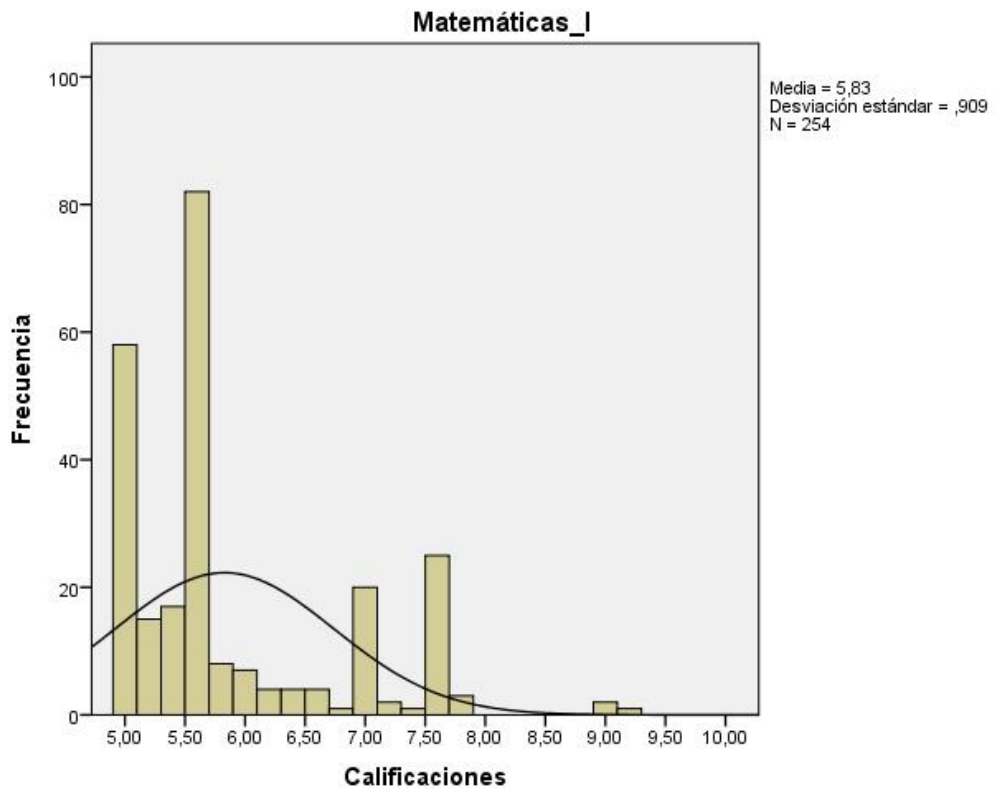


Ilustración 64. Histograma de Matemáticas I.

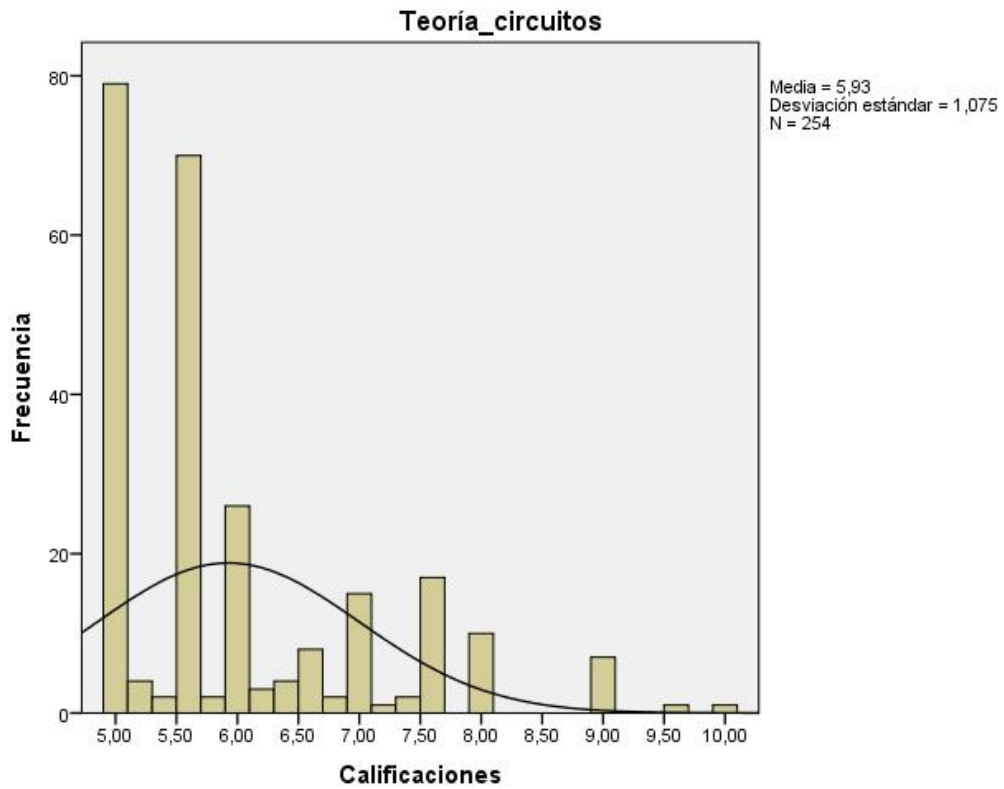


Ilustración 65. Histograma de Teoría de Circuitos.

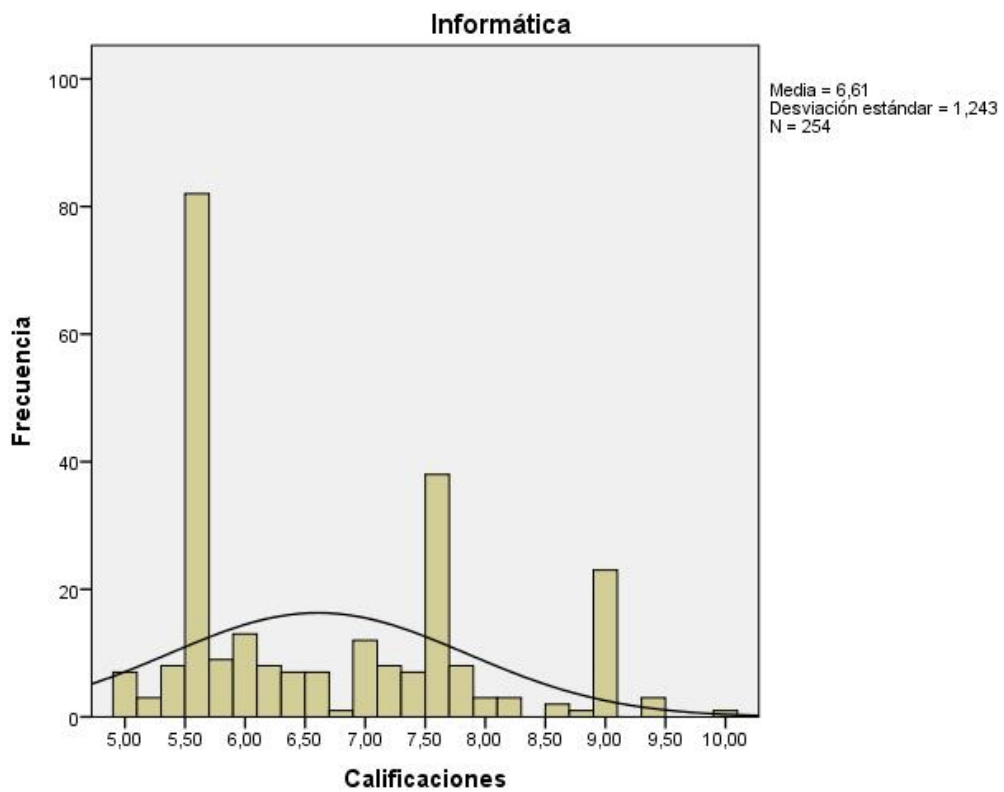


Ilustración 66. Histograma de Informática.

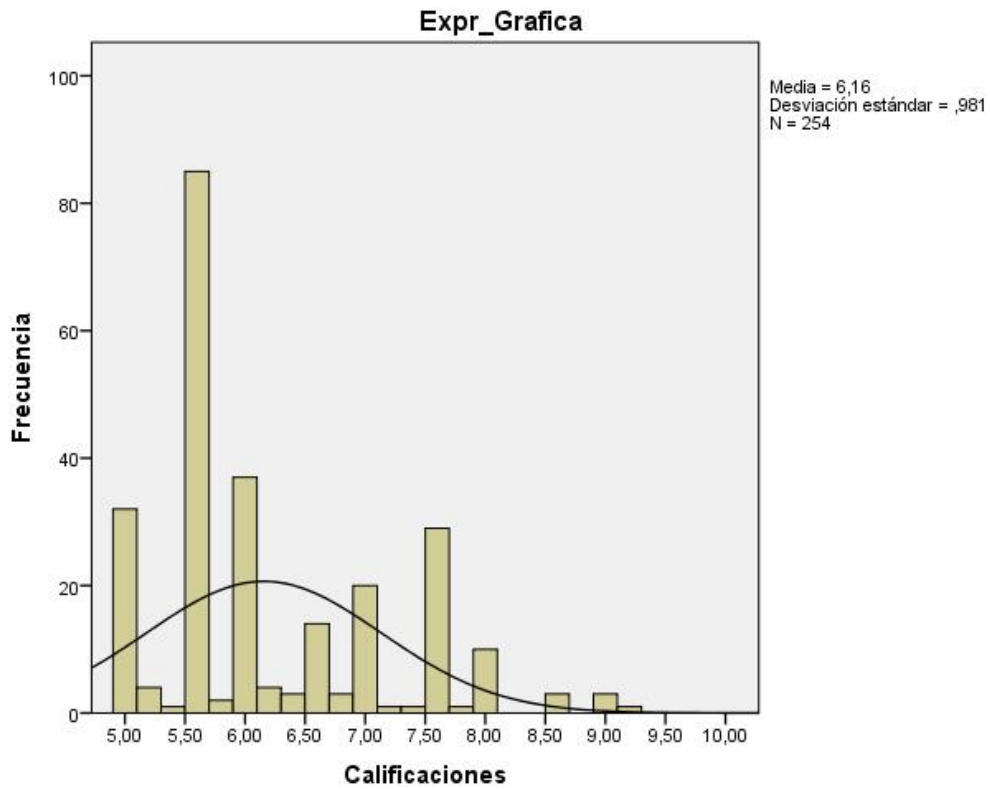


Ilustración 67. Histograma de Expresión Gráfica.

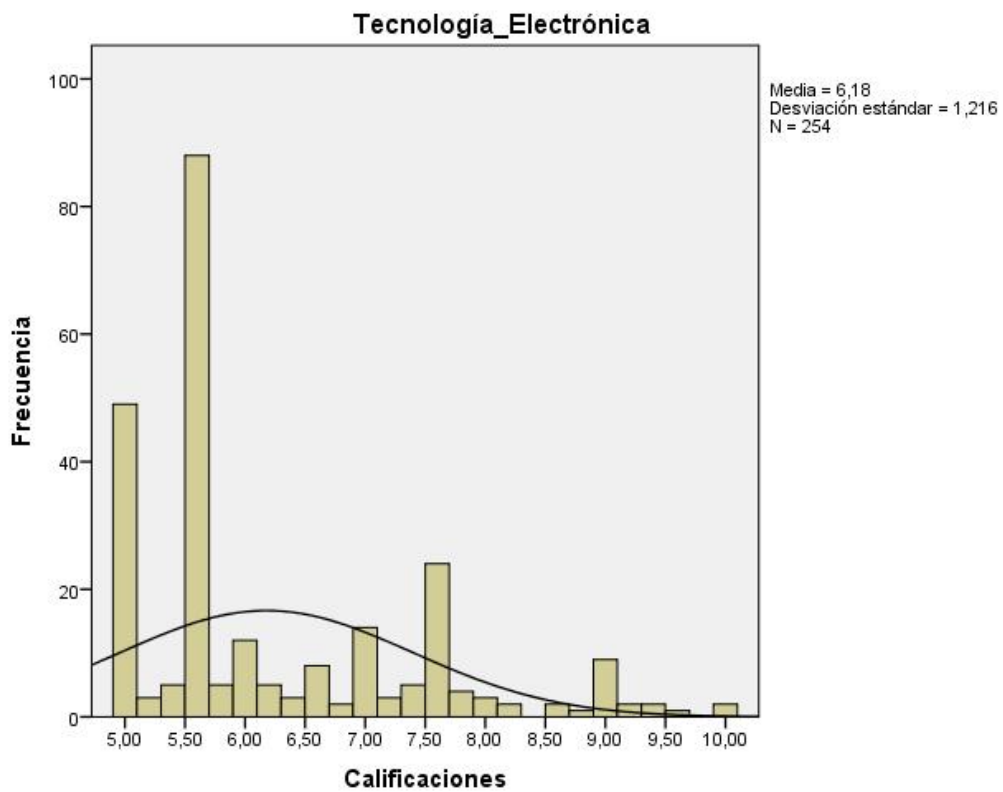


Ilustración 68. Histograma de Tecnología Electrónica.

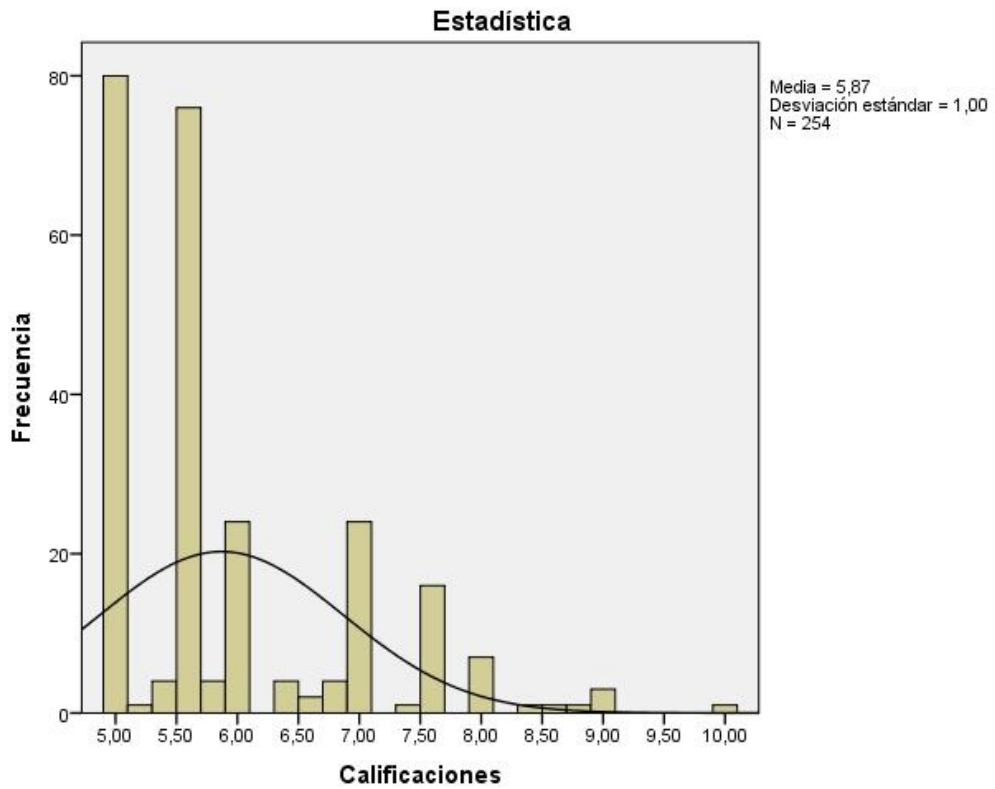


Ilustración 69. Histograma de Estadística.

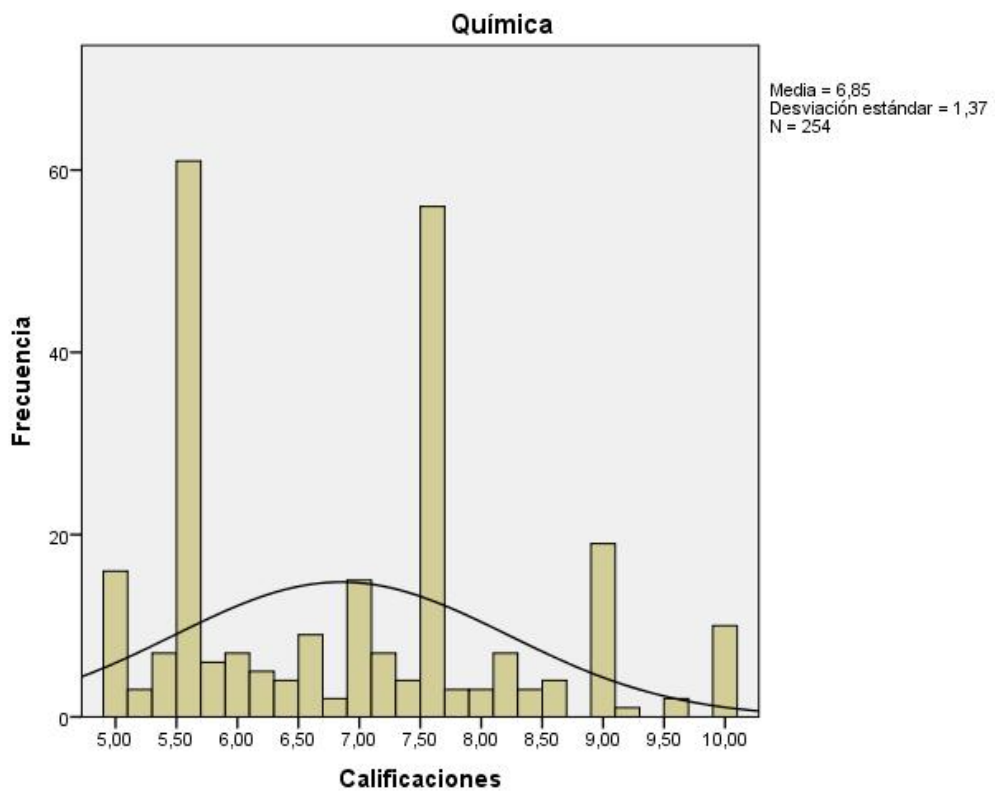


Ilustración 70. Histograma de Química.

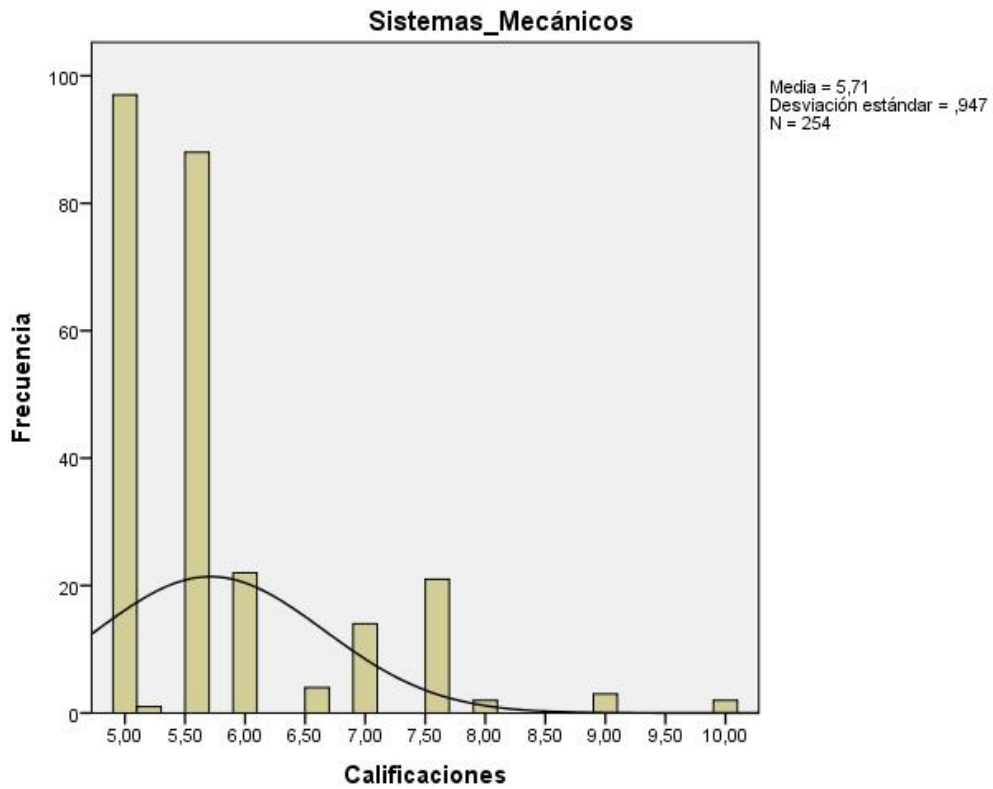


Ilustración 71. Histograma de Sistemas Mecánicos.

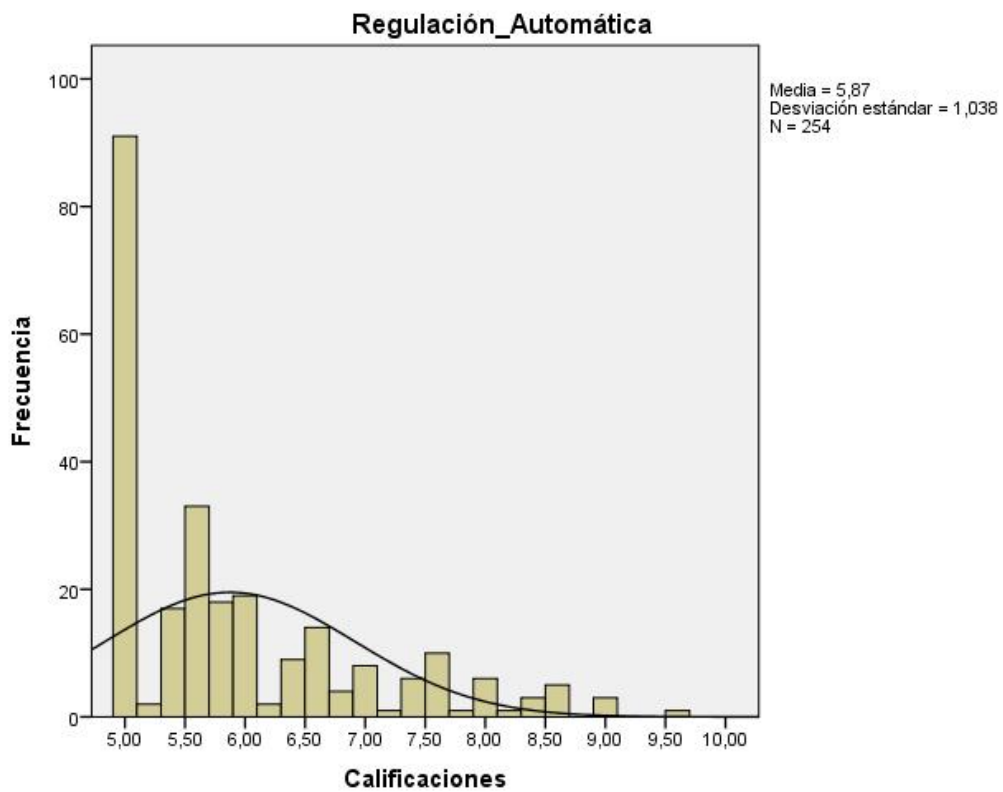


Ilustración 72. Histograma de Regulación Automática.

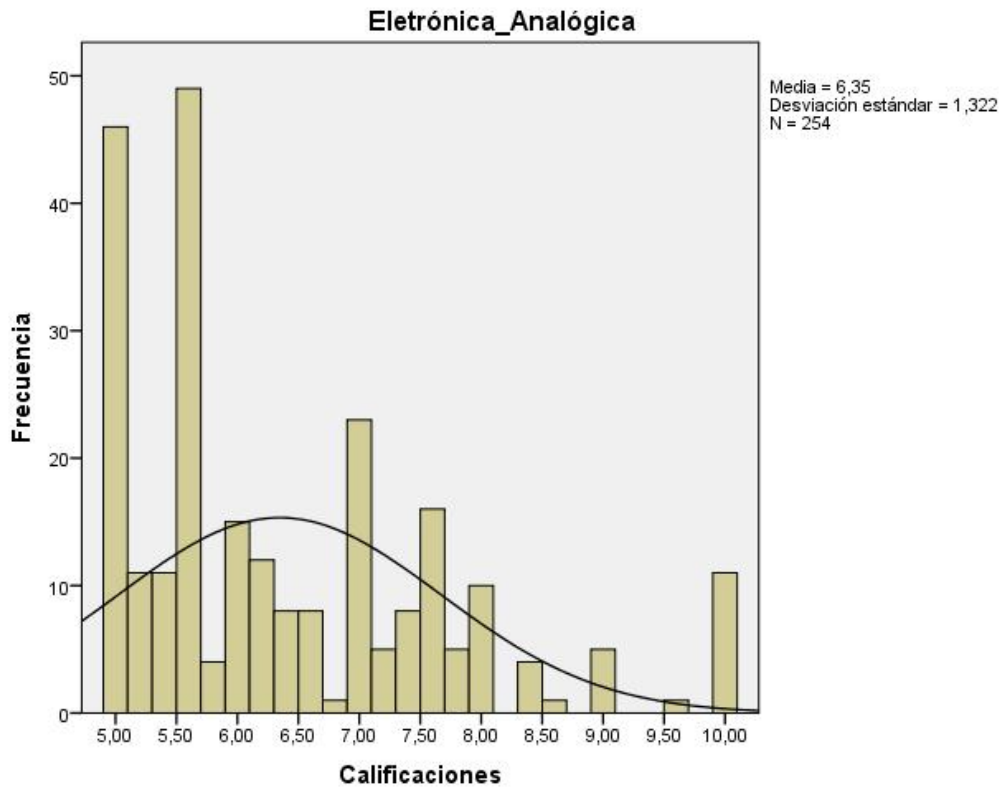


Ilustración 73. Histograma de Electrónica Analógica.

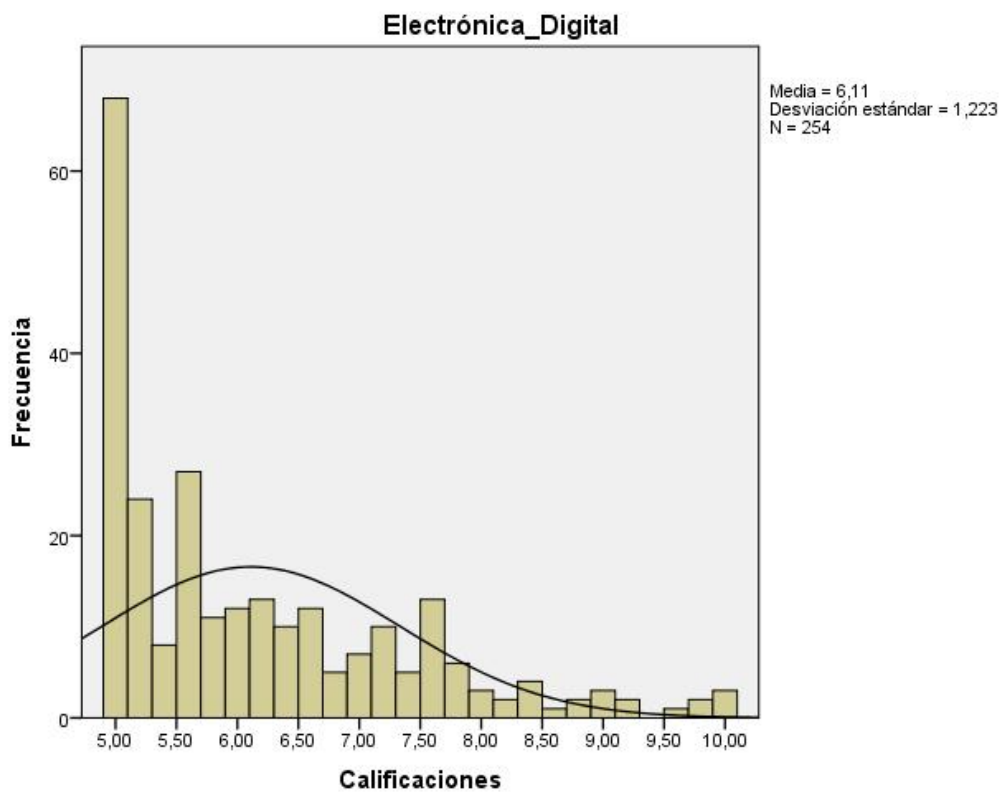


Ilustración 74. Histograma de Electrónica Digital.

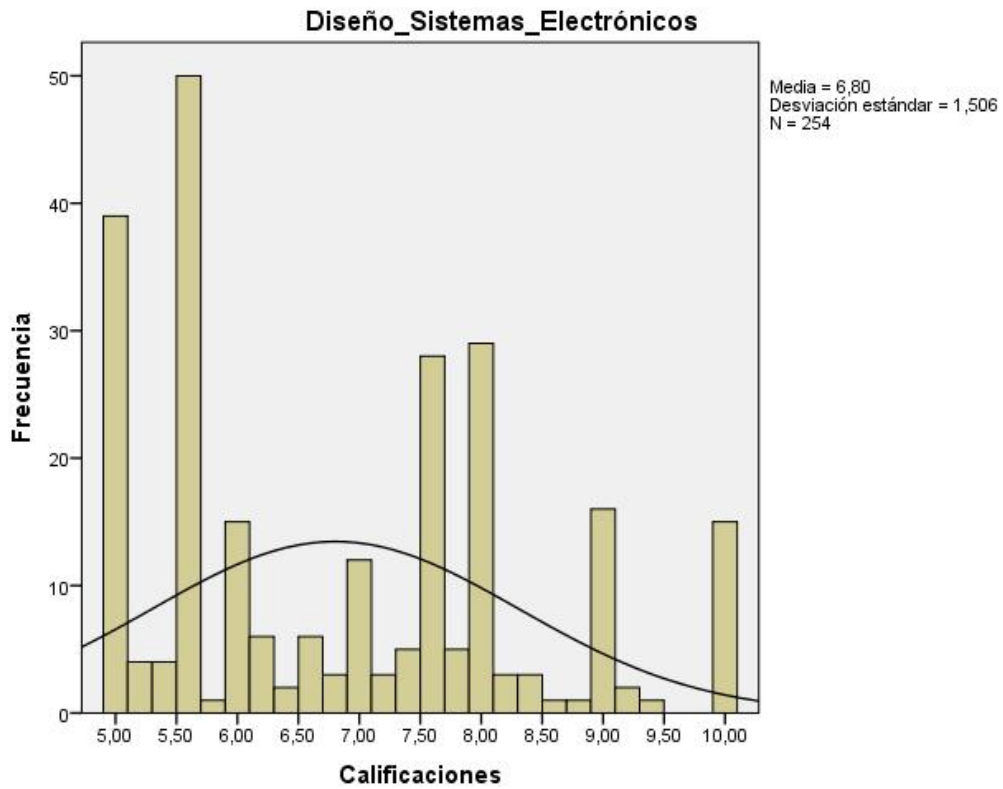


Ilustración 75. Histograma de Diseño de Sistemas Electrónicos.

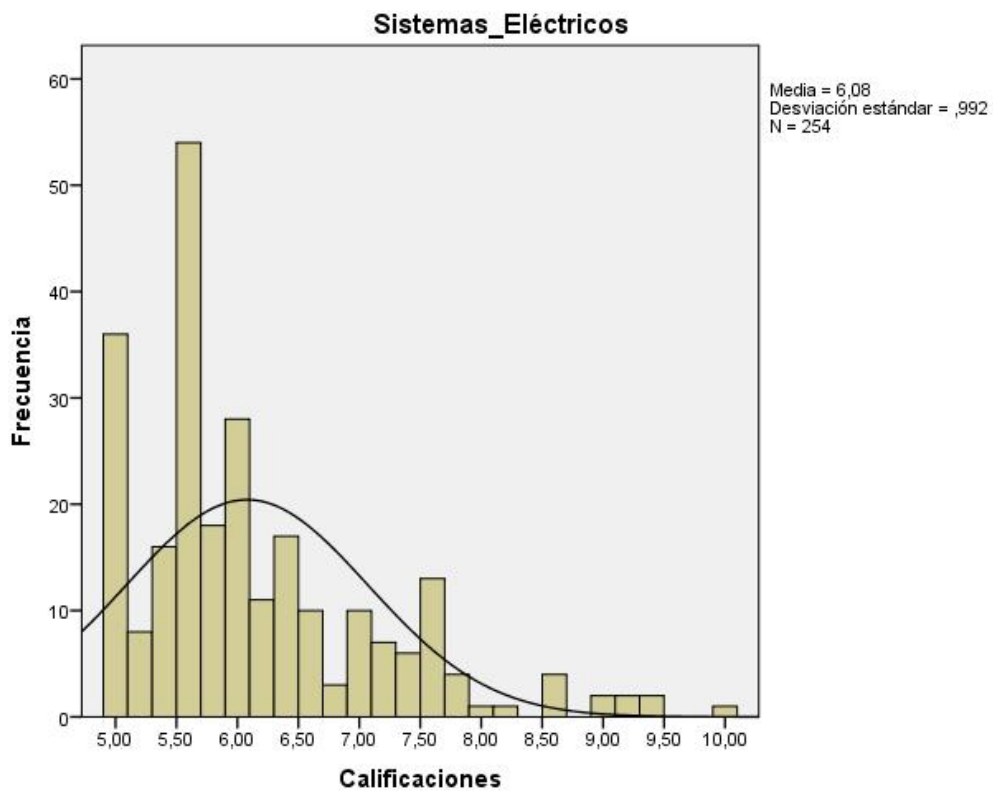


Ilustración 76. Histograma de Sistemas Eléctricos.

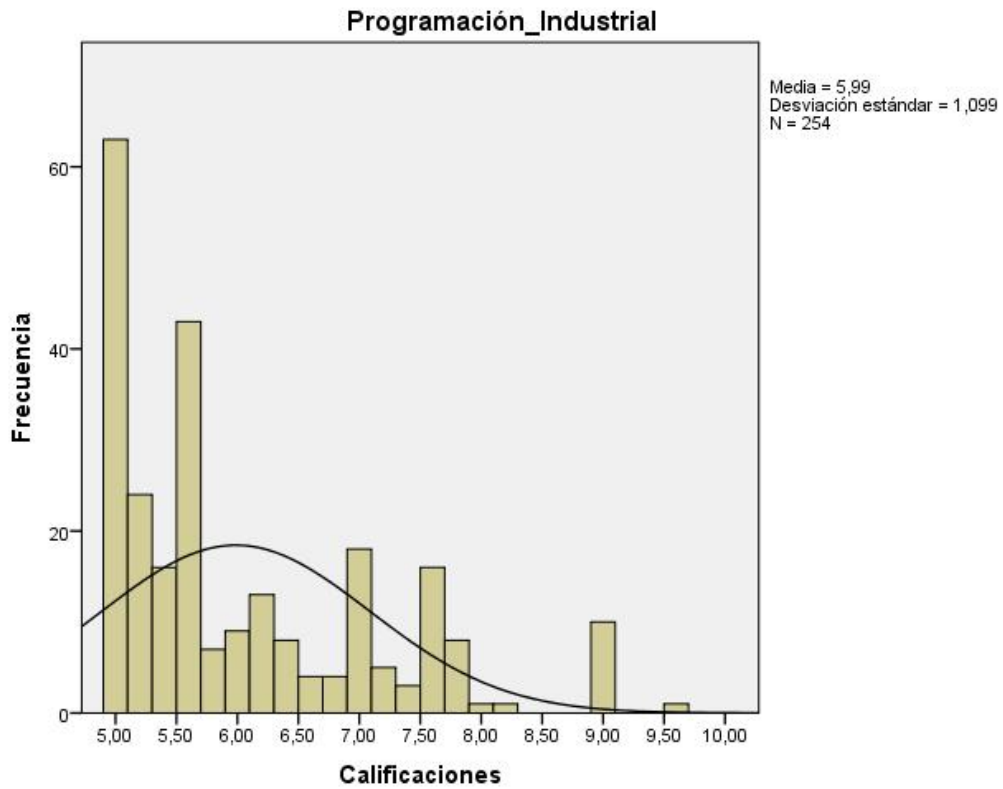


Ilustración 77. Histograma de Programación Industrial.

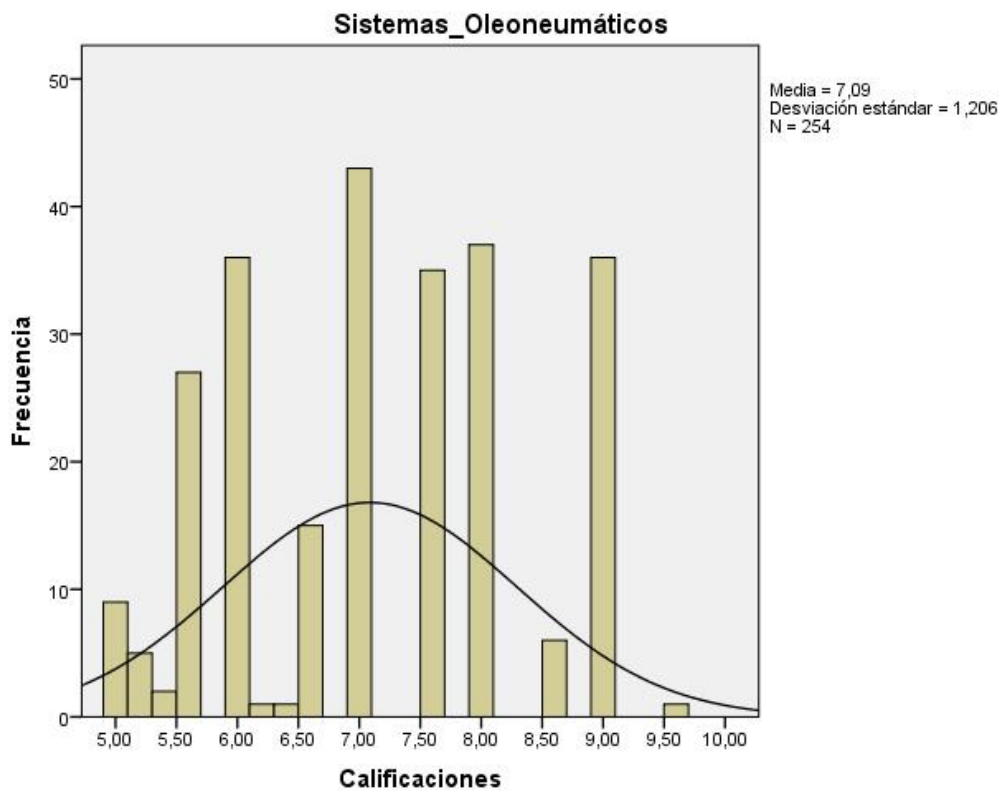


Ilustración 78. Histograma de Sistemas Oleoneumáticos.

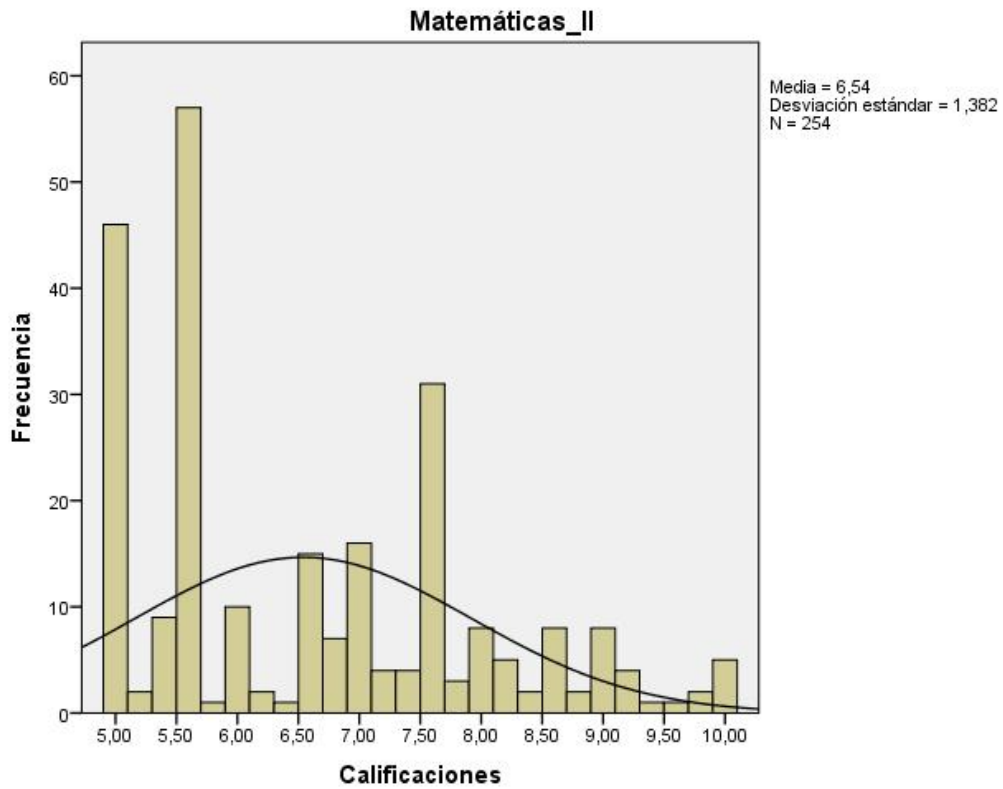


Ilustración 79. Histograma de Matemáticas II.

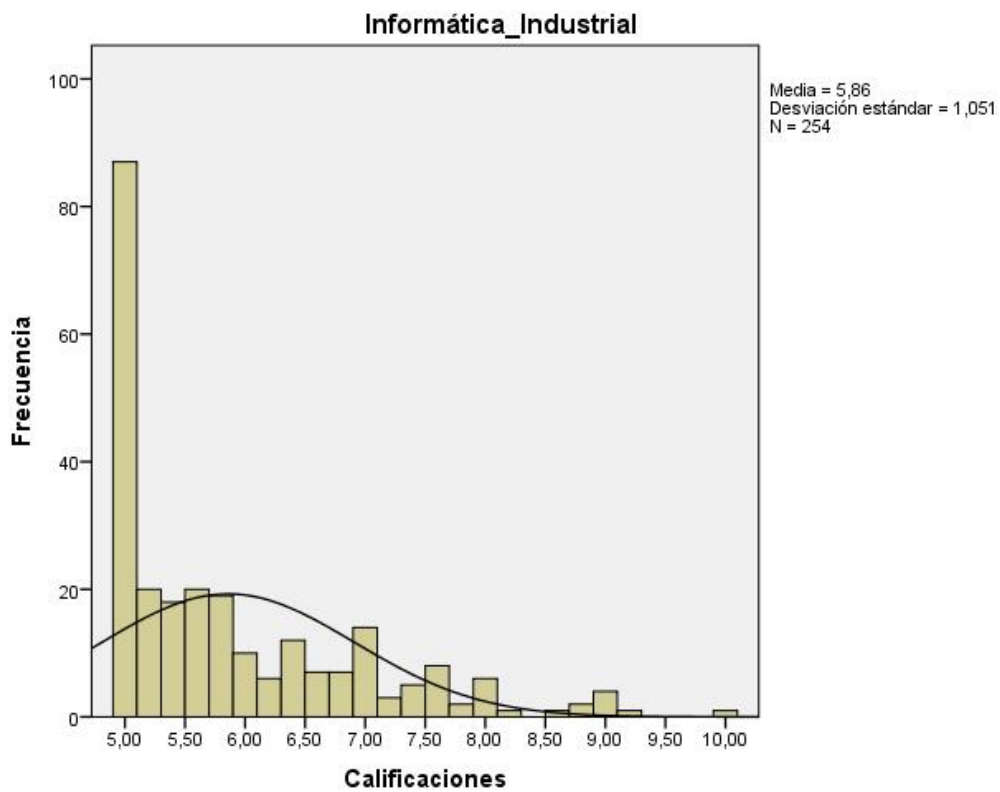


Ilustración 80. Histograma de Informática Industrial.

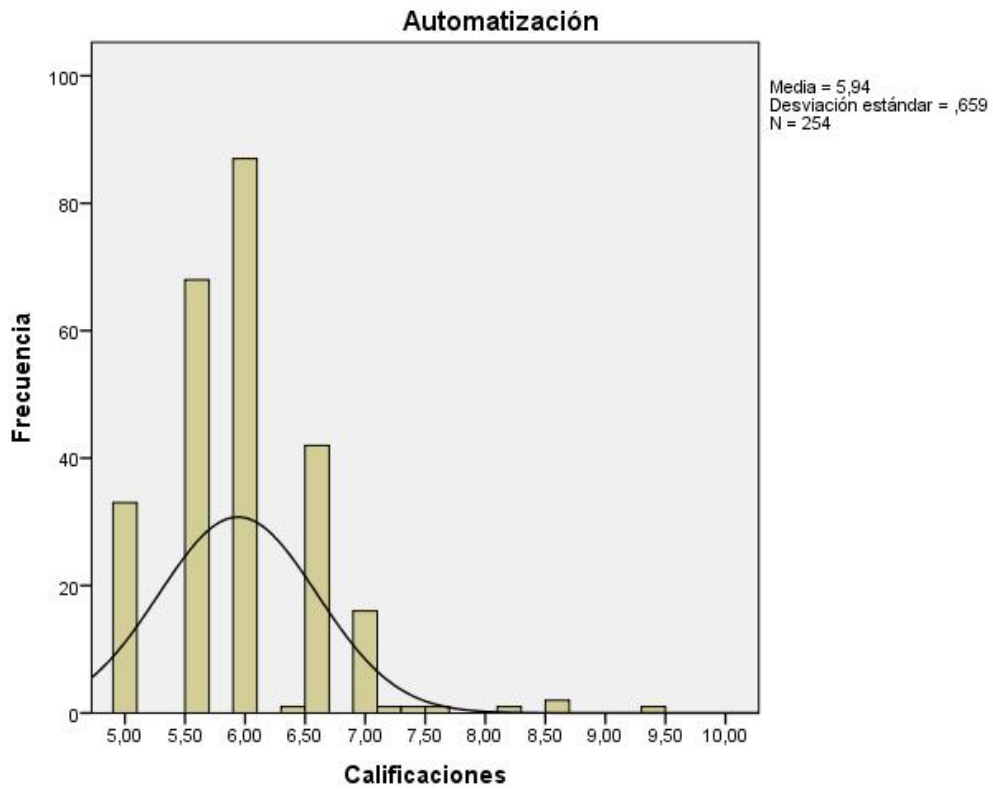


Ilustración 81. Histograma de Automatización Industrial.

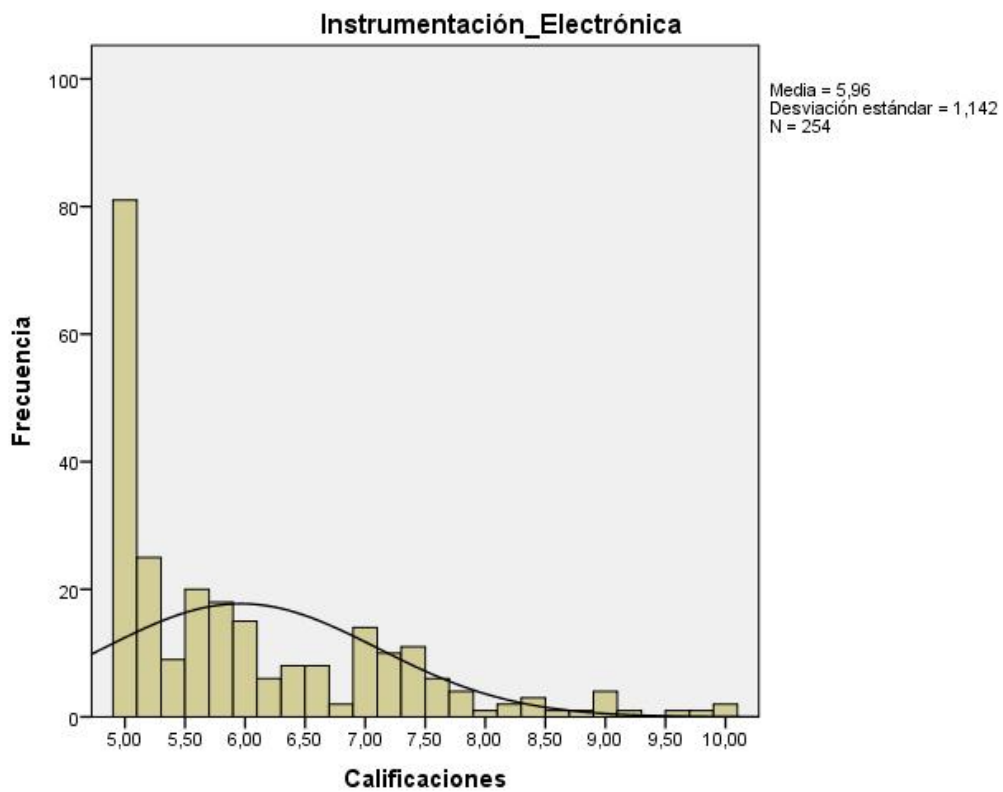


Ilustración 82. Histograma de Instrumentación Electrónica.

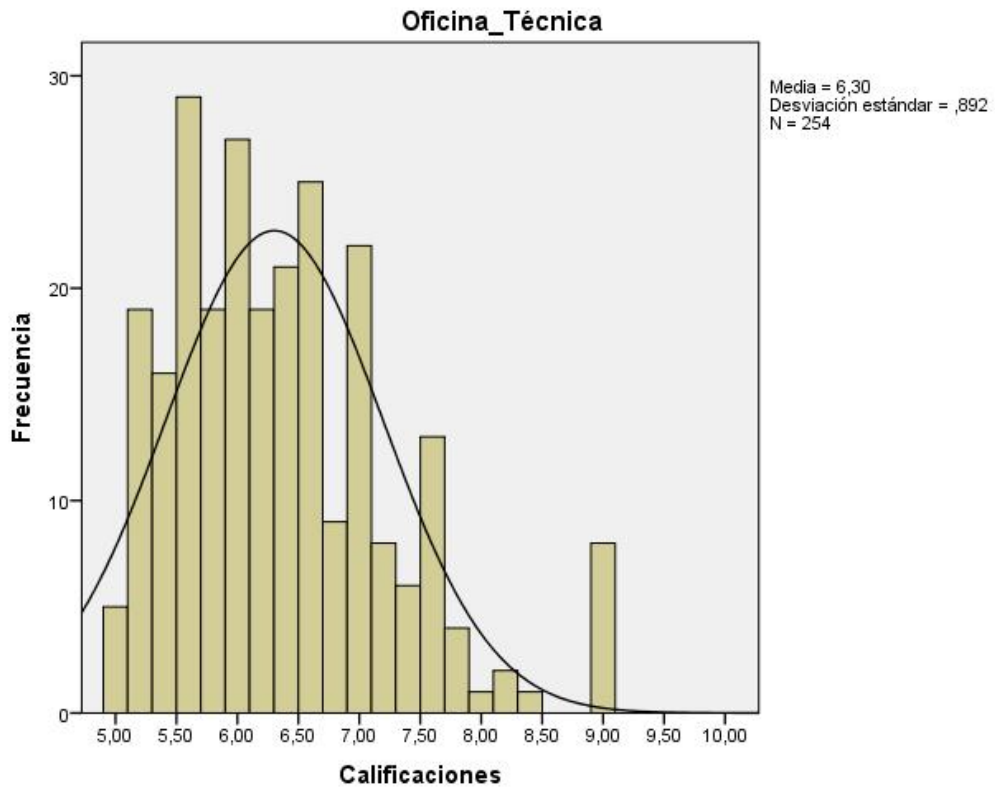


Ilustración 83. Histograma de Oficina Técnica.

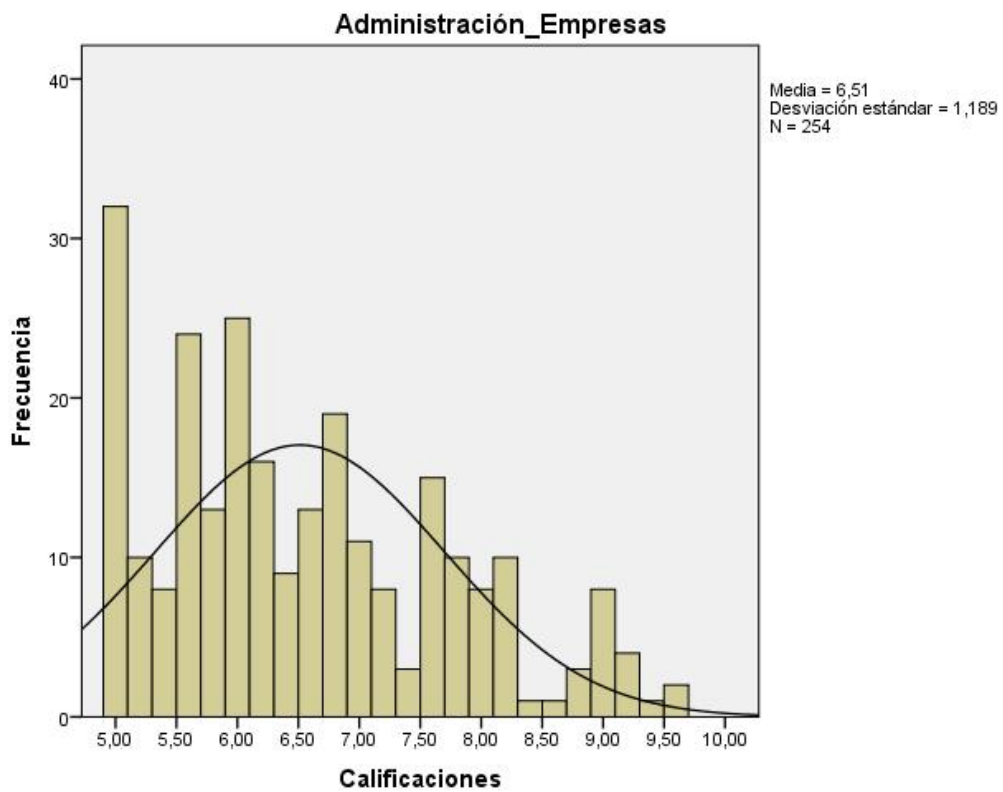


Ilustración 84. Histograma de Administración de Empresas y Organización Industrial.

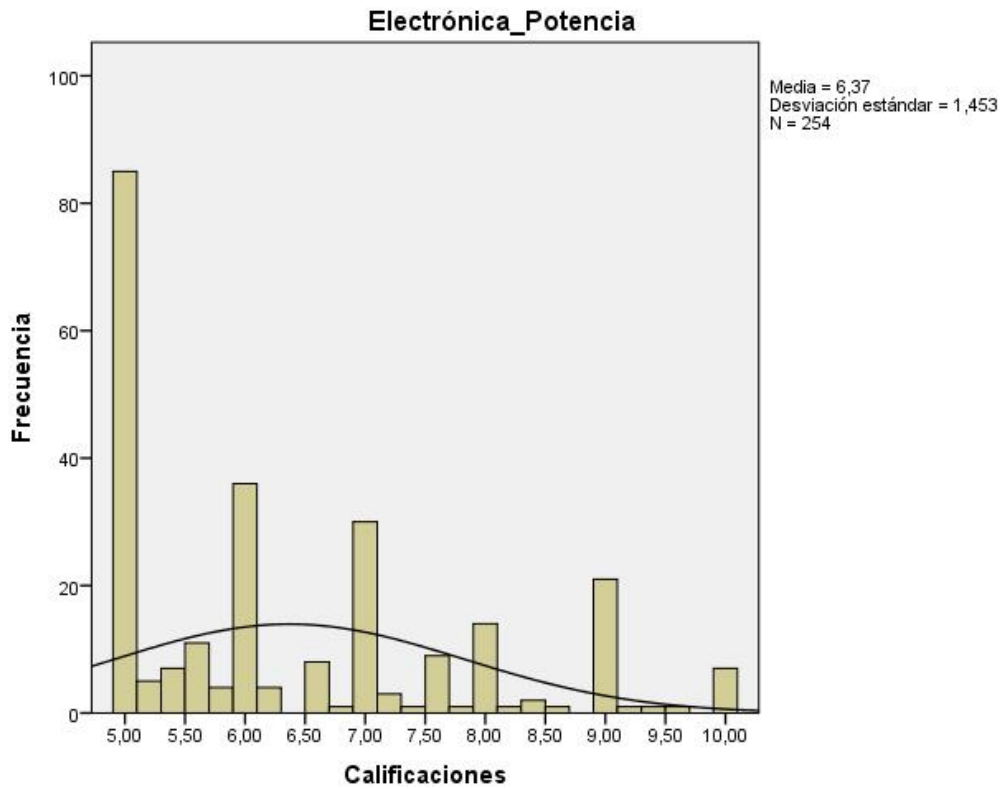


Ilustración 85. Histograma de Electrónica de Potencia.

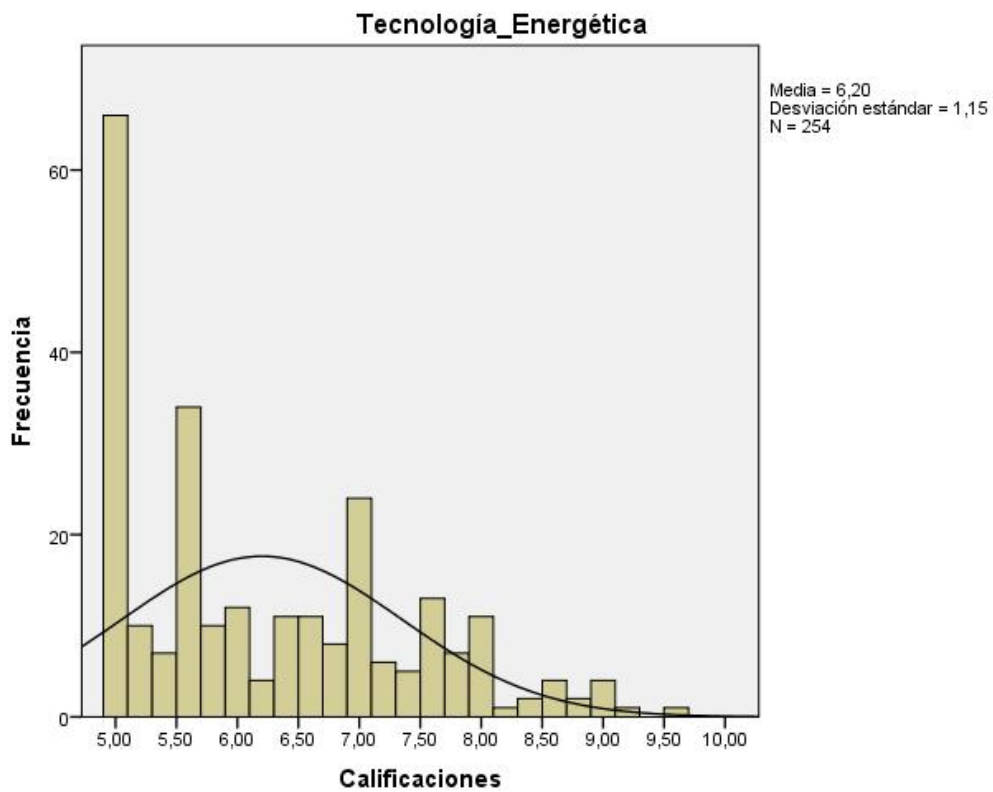


Ilustración 86. Histograma de Tecnología Energética.

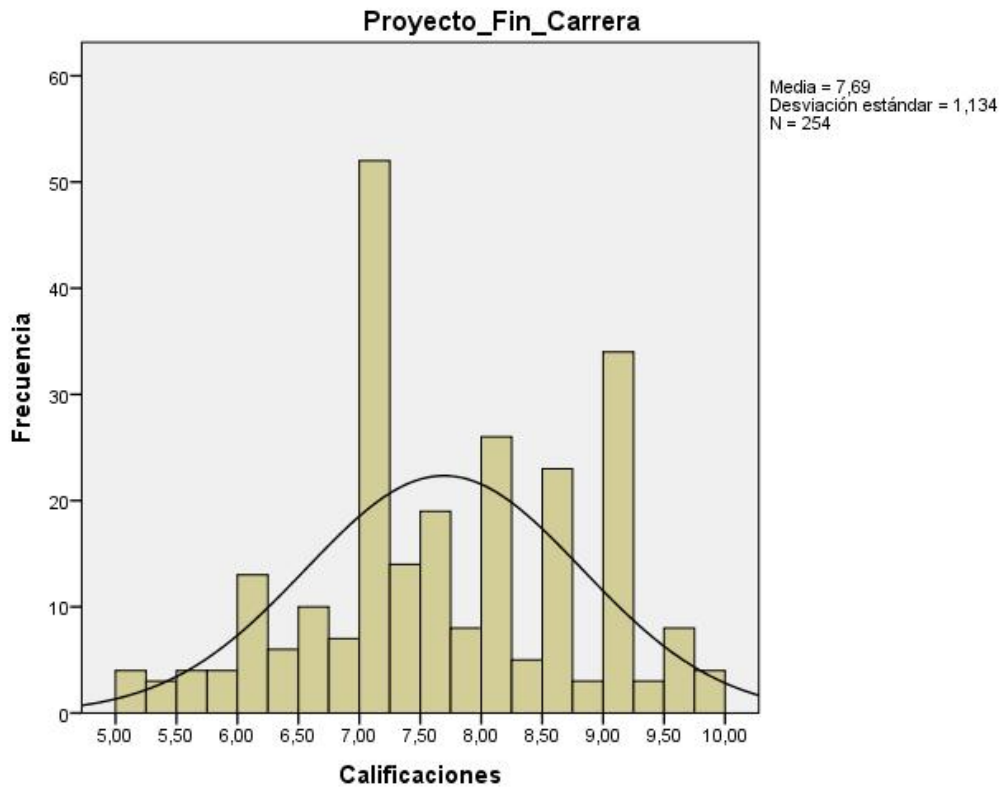


Ilustración 87. Histograma de Proyecto Fin de Carrera.

5 CUARTA ETAPA

En esta cuarta etapa, solamente se realiza el análisis descriptivo correspondiente a la información de las convocatorias agotadas por cada estudiante en la superación de las materias de los planes de estudios. Se utilizan los datos de los mismos estudiantes que se han tenido en cuenta para el análisis de la tercera etapa.

Se procede a continuación a realizar el estudio descriptivo, por titulación.

5.1 Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electricidad

En este apartado se representan los diagramas boxplot de las convocatorias de las materias, agrupados por cursos, con el objetivo de realizar una comparativa de las convocatorias agotadas por los estudiantes en cada asignatura.

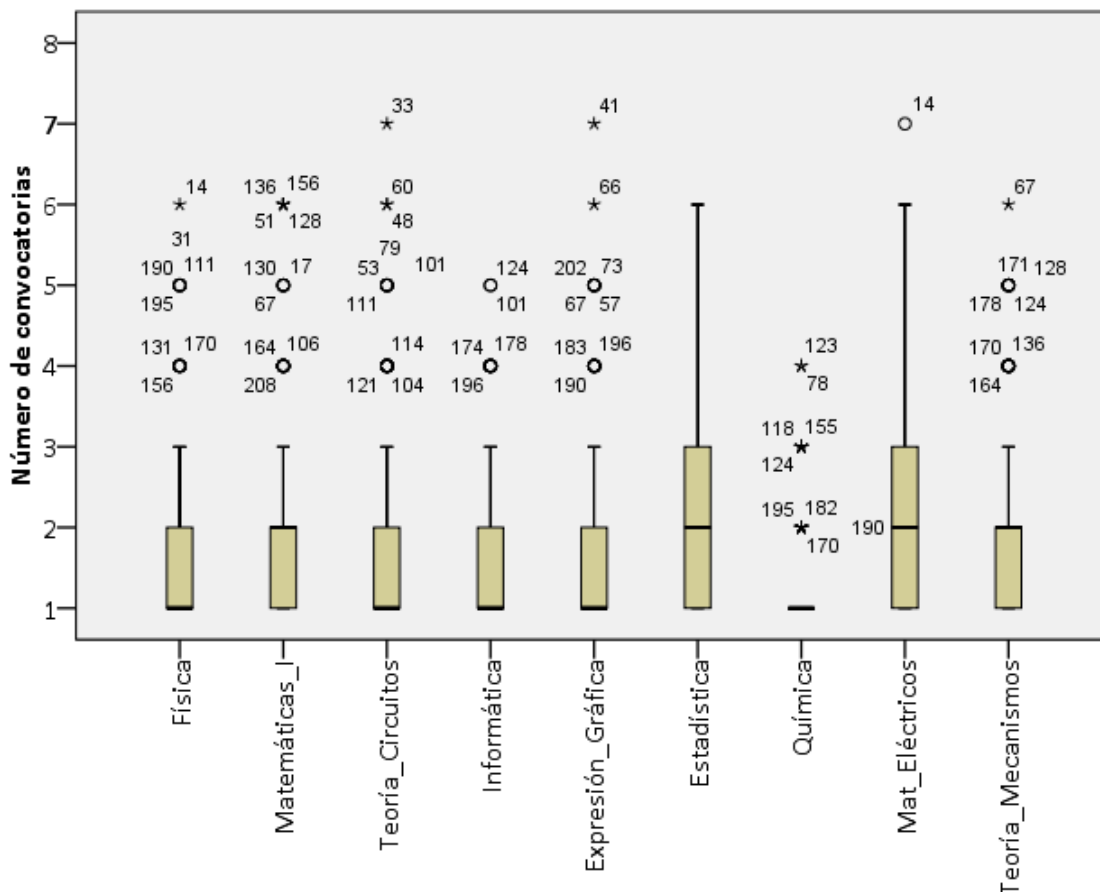


Ilustración 88. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del primer curso.

A continuación se detalla la comparación entre las convocatorias agotadas en cada una de las materias correspondientes al primer curso, Ilustración 88:

- Química es la materia en la que menor número de convocatorias agotan los estudiantes para superarla, alrededor del 90 % aprueba la materia en la primera convocatoria.
- En torno a una 60 % de los estudiantes superan en la primera convocatoria las materias de Física, Teoría de Circuitos, Fundamentos de Informática y Expresión Gráfica.
- En las materias de Matemáticas I y Teoría de Mecanismos, cerca del 50 % de los estudiantes aprueban en la primera convocatoria
- Las materias en las que se necesita un mayor número de convocatorias para superarlas son Estadística y Materiales Eléctricos. Aproximadamente, el 35 % de los estudiantes aprueban en la primera convocatoria.

Todas las materias, excepto Estadística, presentan outliers por encima del límite superior.

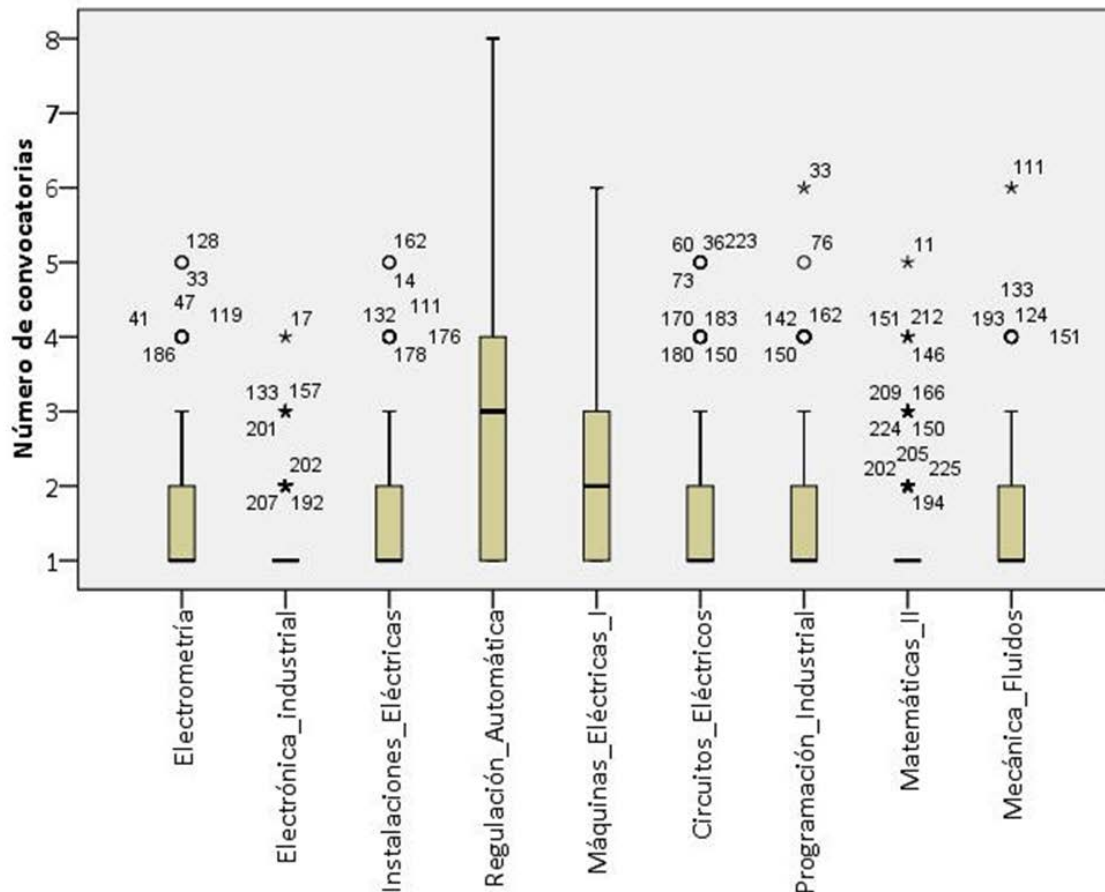


Ilustración 89. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del segundo curso.

Haciendo la comparación entre las materias del segundo curso, Ilustración 89, se observa que:

- Las materias en las que se agotan un menor número de convocatorias son Electrónica Industrial y Matemáticas II, alrededor del 80 % de los estudiantes superan dichas materias en la primera convocatoria que se presentan.
- En torno al 55 % de los estudiantes superan en la primera convocatoria las materias de Electrometría, Instalaciones Eléctricas, Circuitos Eléctricos, Programación Industrial y Mecánica de Fluidos.
- Las materias en las que más convocatorias se agotan son Máquinas Eléctricas I y Regulación Automática. Aproximadamente, el 30 % de los estudiantes las superan en la primera convocatoria.

Excepto Máquinas Eléctricas I y Regulación Automática, todas las materias presentan outliers por encima del límite superior.

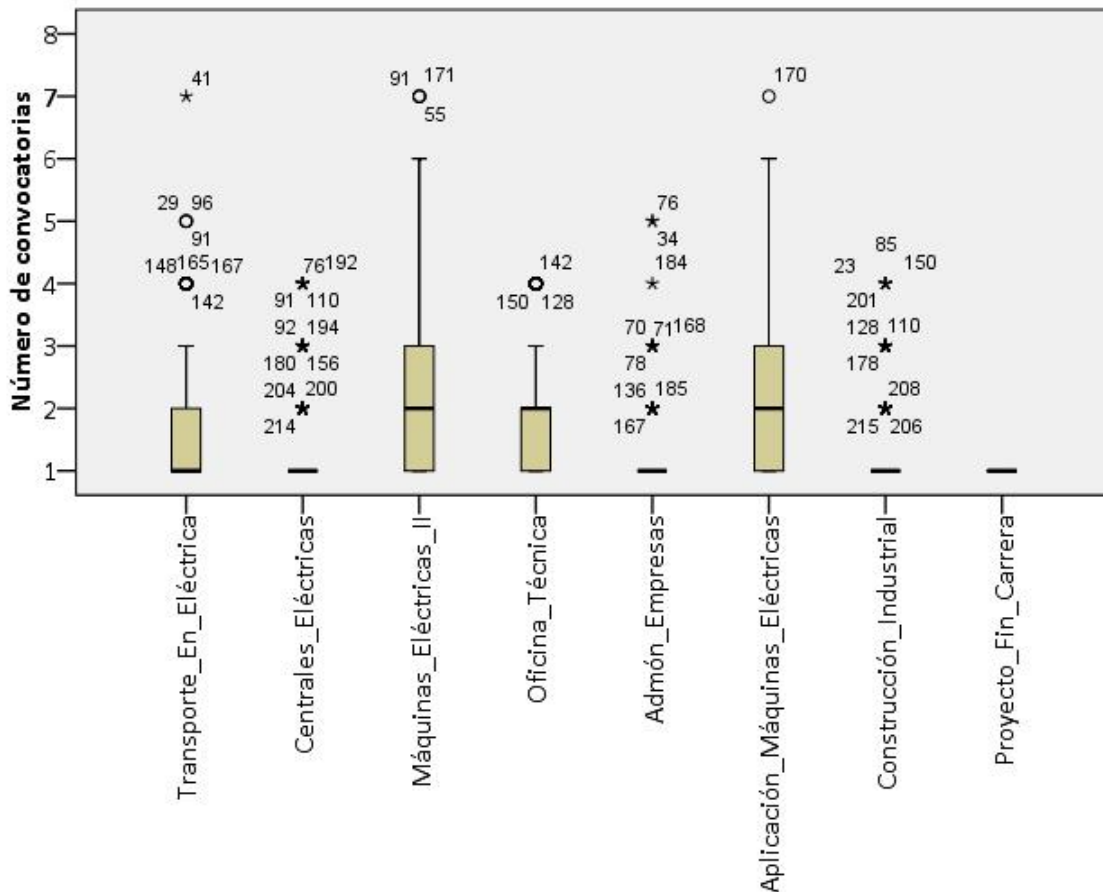


Ilustración 90. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del tercer curso.

Teniendo en cuenta el tercer curso, Ilustración 90, la comparativa es la siguiente:

- Las materias que presentan un menor número de convocatorias agotadas son Centrales Eléctricas, Administración de Empresas y Construcción Industrial. En torno al 80 % de los estudiantes las superan en la primera convocatoria.
- En un grupo intermedio están Transporte de Energía Eléctrica, con un 60 % de aprobados en la primera convocatoria y Oficina Técnica, en la cual alrededor del 50 % de los estudiantes la superan la primera vez que se presentan a examen.
- En las dos materias que mayor número de convocatorias agotan los estudiantes para superarlas son Máquinas Eléctricas II y Aplicación de Máquinas Eléctricas. Aproximadamente, el 30 % de los aprobados se producen en la primera convocatoria.
- El Proyecto Fin de Carrera merece mención aparte, por su condición de materia sin docencia y el tipo de prueba de evaluación que se realiza. Todos los estudiantes la superan en la primera convocatoria en la que lo presentan.

Todas las materias, con excepción del Proyecto Fin de Carrera, presentan outliers encima del límite superior.

5.2 Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial y Automática

En este apartado se representan los diagramas boxplot de las materias correspondientes a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial.

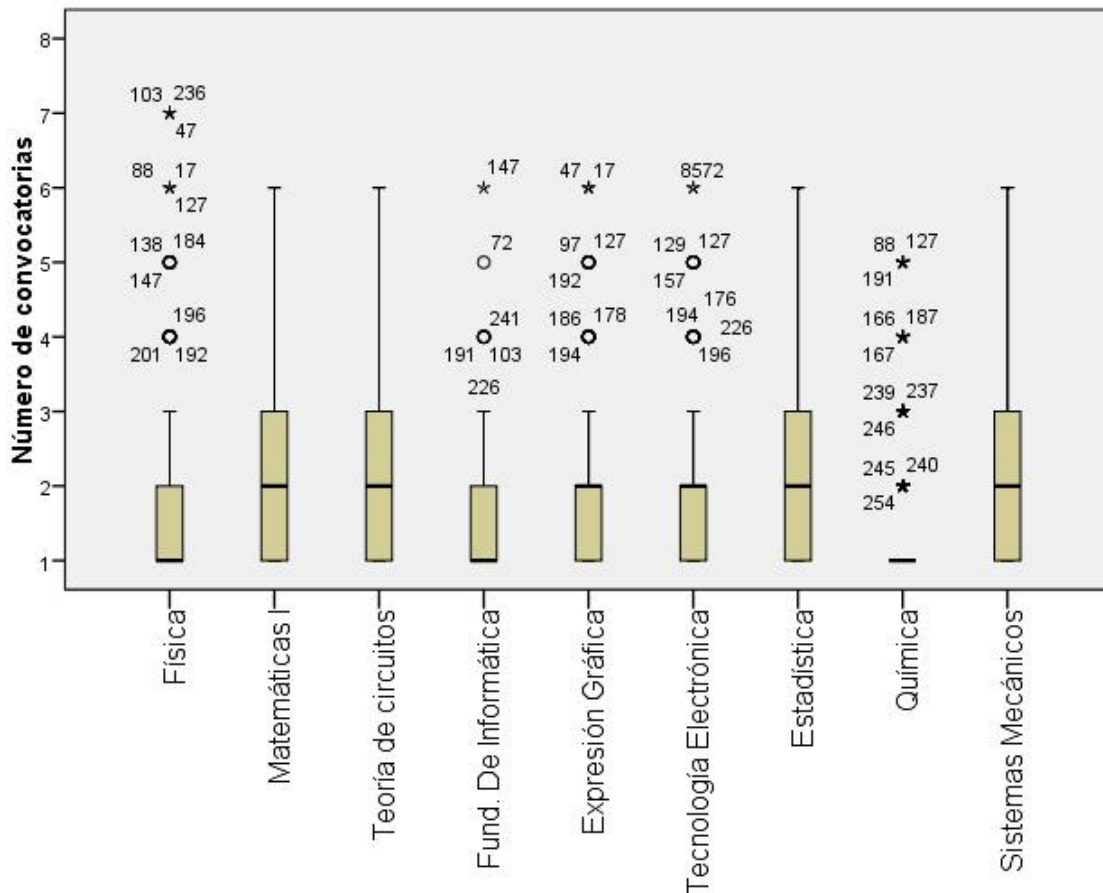


Ilustración 91. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del primer curso

Atendiendo a las materias del primer curso, Ilustración 91, la comparativa es la siguiente:

- Química es la materia en la que menor número de convocatorias agotan los estudiantes para superarla, alrededor del 80% aprueba la materia en la primera convocatoria.
- En torno a una 60% de los estudiantes superan en la primera convocatoria las materias de Física y Fundamentos de Informática.
- En las materias de Expresión Gráfica y Tecnología Electrónica, cerca del 50% de los estudiantes aprueban en la primera convocatoria

- Las materias en las que se necesita un mayor número de convocatorias para superarlas son Matemáticas I, Teoría de Circuitos, Estadística y Sistemas Mecánicos. Aproximadamente, el 40 % de los estudiantes aprueban en la primera convocatoria.

Todas las materias, excepto Matemáticas I, Teoría de Circuitos, Estadística y Sistemas Mecánicos, presentan outliers por encima del límite superior.

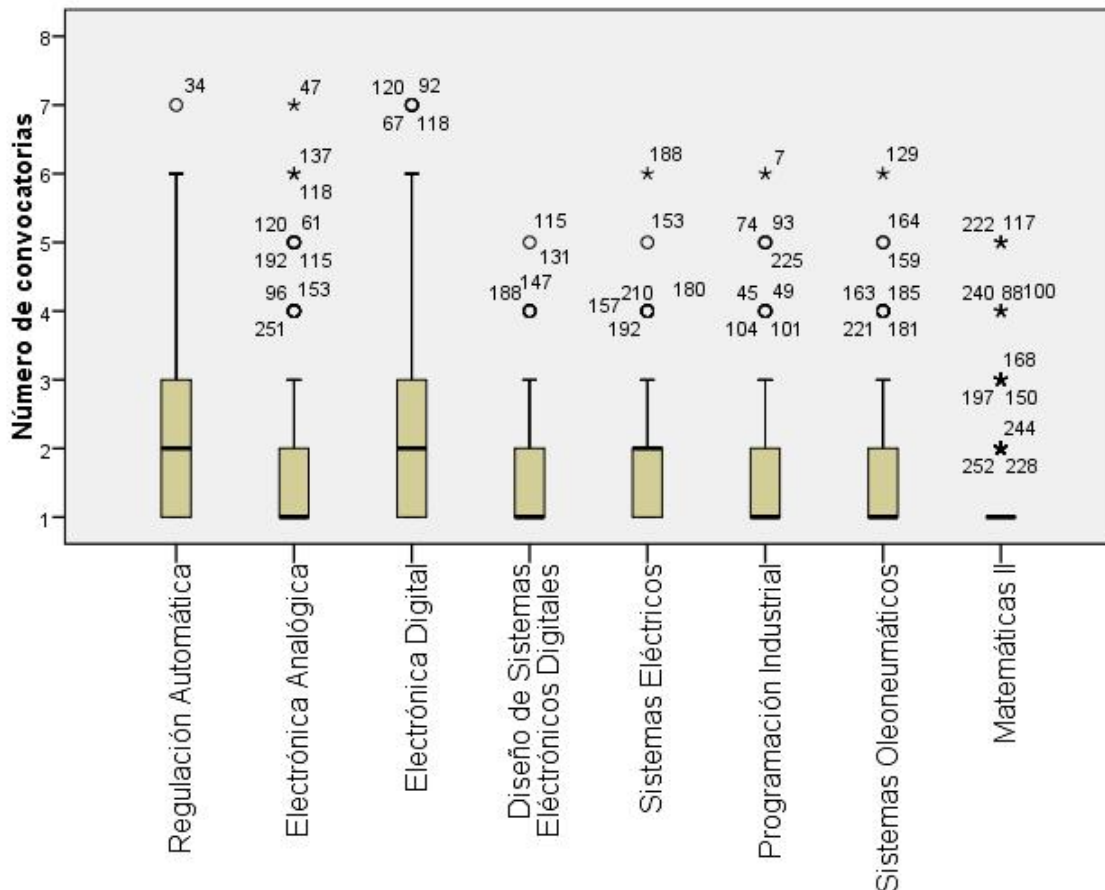


Ilustración 92. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del segundo curso.

Haciendo la comparación entre las materias del segundo curso, Ilustración 92, se observa que:

- Matemáticas II es la materia en la que menor número de convocatorias agotan los estudiantes para superarla, alrededor del 80 % aprueba la materia en la primera convocatoria.
- En torno al 60 % de los estudiantes superan en la primera convocatoria las materias de Electrónica Analógica, Diseño de Sistemas Electrónicos, Programación Industrial y Sistemas Oleoneumáticos.
- En la materia de Sistemas Eléctricos, aproximadamente, el 45 % de los estudiantes superan la asignatura en la primera convocatoria.

- Las materias en las que más convocatorias se agotan son Regulación Automática y Electrónica Digital, cerca del 40 % de los estudiantes aprueban en la primera convocatoria.
- Todas las materias presentan outliers por encima del límite superior.

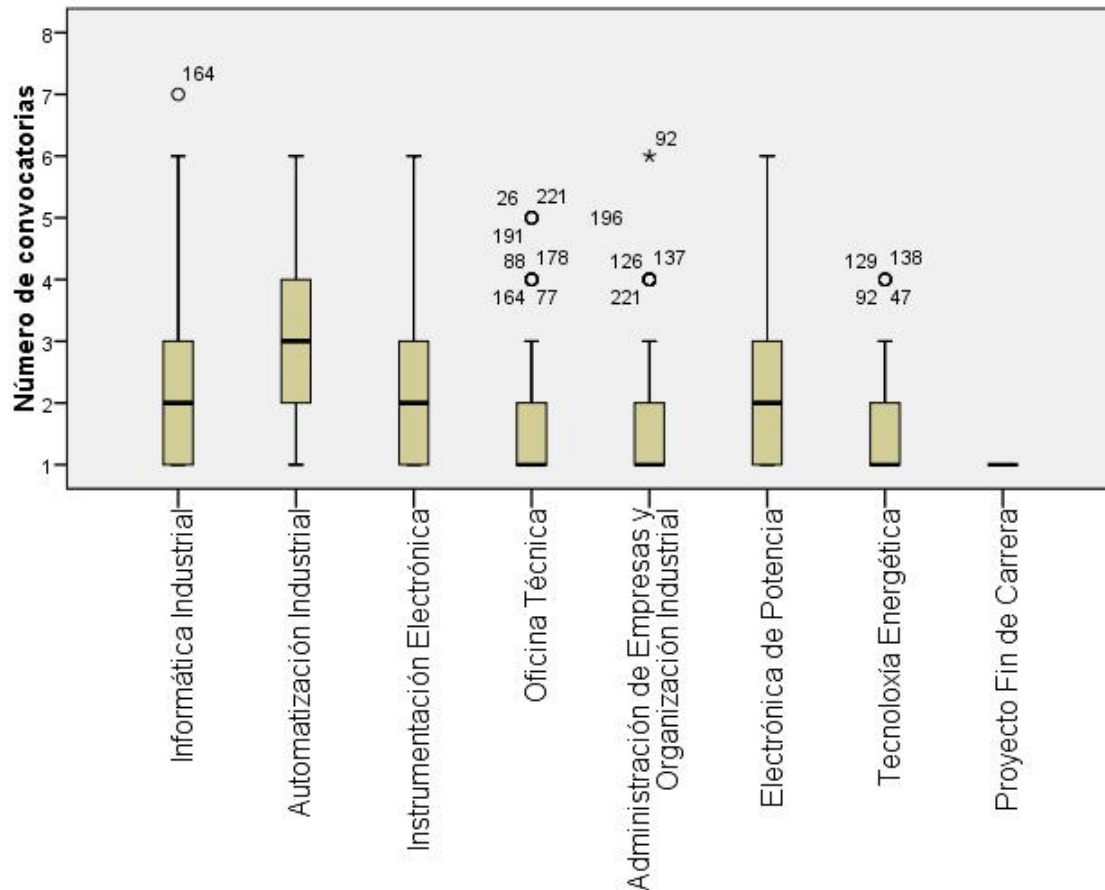


Ilustración 93. Diagramas boxplot de las convocatorias de materias del tercer curso.

Teniendo en cuenta el tercer curso, Ilustración 93 , la comparativa es la siguiente:

- Las materias que presentan un menor número de convocatorias agotadas son Oficina Técnica, Administración de Empresas y Tecnología Industrial. En torno al 70 % de los estudiantes las superan en la primera convocatoria.
- En un grupo intermedio están Informática Industrial, Instrumentación Electrónica y Electrónica de Potencia, en las cuales alrededor del 45 % de los estudiantes la superan la primera vez que se presentan a examen.
- En la materia que mayor número de convocatorias agotan los estudiantes para superarla es Automatización Industrial. Aproximadamente, el 20 % de los aprobados se producen en la primera convocatoria.
- El Proyecto Fin de Carrera merece mención aparte, por su condición de materia sin docencia y el tipo de prueba de evaluación que se realiza. Todos los estudiantes la superan en la primera convocatoria en la que lo presentan.

Todas las materias, con excepción de Automatización Industrial, Instrumentación Electrónica, Electrónica de Potencia y del Proyecto Fin de Carrera, presentan outliers encima del límite superior.

*Capítulo 9. Resultados del análisis de
correlación*

1 INTROUCCIÓ

En este capítulo se muestran los resultados de los análisis de correlación, entre las calificaciones y entre las convocatorias, de las materias que componen cada plan de estudios. Para el caso de las calificaciones, se utilizarán los datos obtenidos en la tercera y cuarta etapa. En el caso de las convocatorias, se utilizan los datos manejados en la cuarta etapa.

2 TERCERA ETAPA

En esta etapa se realiza de forma independiente el análisis de correlación por titulaciones, debido a que las materias que cursan los estudiantes son diferentes para cada plan de estudios. Se procede a continuación a realizar el estudio en cada titulación.

2.1 Análisis de correlación

En este apartado se efectúa el análisis de correlación entre las calificaciones de 225 estudiantes de la titulación de ITI, Electricidad y de 254 estudiantes de la titulación de ITI, Electrónica.

El análisis se realiza sobre las calificaciones sin ponderar, es decir, obtenidas por los estudiantes en el momento de superar cada materia, sin tener en cuenta las convocatorias utilizadas. No se analizan las calificaciones de las materias optativas porque no todos los estudiantes cursan las mismas.

A continuación, se muestran los resultados de los estudios realizados en cada titulación, correspondientes a la tercera etapa.

2.1.1 Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electricidad

Los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos entre las calificaciones, sin ponderar, de las materias, se muestran en las siguientes tablas: Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29.

Materias		Primer curso								
		Física	Matemáticas I	Teoría de circuitos	Fund. de Informática	Expresión Gráfica	Estadística	Química	Materiales El. y Mg.	Teoría de Mec. y Estr.
Primer curso	Física	1,00								
	Matemáticas I	0,28	1,00							
	Teoría de circuitos 1	0,11	0,19	1,00						
	Fund. de Informática	0,28	0,24	0,17	1,00					
	Expresión Gráfica	0,28	0,28	0,13	0,23	1,00				
	Estadística	0,12	0,12	0,05	0,11	0,04	1,00			
	Química	0,24	0,12	0,06	0,28	0,24	0,06	1,00		
	Materiales El. y Mg.	0,27	0,22	0,12	0,20	0,21	0,13	0,35	1,00	
	Teoría de Mec. y Estr.	0,25	0,15	-0,03	0,20	0,16	0,00	0,19	0,18	1,00
Segundo curso	Electrometría	0,08	0,15	0,06	0,11	0,21	0,06	0,17	0,24	0,08
	Electrónica Industrial	0,33	0,22	0,10	0,26	0,24	0,23	0,15	0,30	0,24
	Instalaciones Eléctricas	0,18	0,06	0,09	0,22	0,18	0,05	0,19	0,26	0,07
	Regulación Automática	0,03	0,05	-0,05	0,05	0,08	-0,01	0,11	0,07	0,08
	Máquinas Eléctricas I	0,04	-0,05	0,02	0,11	0,03	0,06	0,15	0,19	-0,05
	Circuitos Eléctricos	0,18	0,16	0,06	0,14	0,15	0,15	0,17	0,18	0,13
	Programación Industrial	0,31	0,30	0,11	0,17	0,23	0,07	0,21	0,26	0,18
	Matemáticas II	0,27	0,24	0,21	0,24	0,28	0,05	0,23	0,19	0,25
	Mecánica de Fl. y Term.	0,22	0,29	0,21	0,26	0,27	0,02	0,23	0,24	0,18
Tercer curso	Transporte de En. El.	0,21	0,02	0,05	0,06	0,11	0,09	0,11	0,15	0,01
	Centrales Eléctricas	0,15	0,10	0,19	0,13	0,11	0,06	0,09	0,14	0,06
	Máquinas Eléctricas II	0,19	0,09	0,10	0,13	0,18	0,13	0,08	0,15	0,07
	Oficina Técnica	0,11	0,22	0,09	0,14	0,21	0,11	0,15	0,27	0,09
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,12	0,14	0,08	0,11	-0,01	0,17	0,13	0,12	0,06
	Aplicación de Máq. El.	0,11	0,08	0,00	0,11	0,24	0,09	0,10	0,06	0,04
	Construcción Industrial	0,15	0,19	0,10	0,18	0,24	0,02	0,10	0,16	0,15
	Proyecto Fin de Carrera	0,10	0,13	0,09	0,08	0,17	0,03	0,15	0,17	0,03

Tabla 27. Matriz correlaciones entre calificaciones. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.

Materias		Segundo curso								
		Electrometría	Electrónica Industrial	Instalaciones Eléctricas	Regulación Automática	Máquinas Eléctricas I	Circuitos Eléctricos	Programación Industrial	Matemáticas II	Mecánica de Fl. y Term.
Segundo curso	Electrometría	1,00								
	Electrónica Industrial	0,30	1,00							
	Instalaciones Eléctricas	0,30	0,27	1,00						
	Regulación Automática	0,10	0,11	0,20	1,00					
	Máquinas Eléctricas I	0,16	0,03	0,09	0,03	1,00				
	Circuitos Eléctricos	0,25	0,38	0,20	0,07	-0,05	1,00			
	Programación Industrial	0,28	0,36	0,19	0,04	0,09	0,24	1,00		
	Matemáticas II	0,21	0,31	0,10	0,10	0,03	0,23	0,27	1,00	
	Mecánica de Fl. y Term.	0,18	0,30	0,29	0,03	-0,01	0,14	0,26	0,22	1,00
Tercer curso	Transporte de En. El.	0,17	0,18	0,18	0,01	0,05	0,16	0,03	0,04	0,05
	Centrales Eléctricas	0,28	0,33	0,15	0,01	0,12	0,29	0,28	0,12	0,12
	Máquinas Eléctricas II	0,11	0,18	0,12	0,12	0,19	0,11	0,07	0,05	0,15
	Oficina Técnica	0,24	0,26	0,12	0,05	-0,03	0,15	0,28	0,24	0,18
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,03	0,20	-0,02	0,02	-0,02	0,02	0,17	0,02	0,06
	Aplicación de Máq. El.	0,17	0,17	0,16	0,02	0,17	0,06	0,05	0,03	0,06
	Construcción Industrial	0,15	0,24	0,20	0,22	0,16	0,11	0,24	0,12	0,15
	Proyecto Fin de Carrera	0,22	0,27	0,15	0,06	0,12	0,26	0,17	0,18	0,20

Tabla 28. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.

Materias		Tercer curso							
		Transporte de En. El.	Centrales Eléctricas	Máquinas Eléctricas II	Oficina Técnica	Admón. de Empresas y Org. Ind.	Aplicación de Máq. El.	Construcción Industrial	Proyecto Fin de Carrera
Tercer curso	Transporte de En. El.	1,00							
	Centrales Eléctricas	0,25	1,00						
	Máquinas Eléctricas II	0,20	0,25	1,00					
	Oficina Técnica	0,13	0,24	0,07	1,00				
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	-0,03	0,17	0,00	0,15	1,00			
	Aplicación de Máq. El.	0,20	0,17	0,25	0,07	0,01	1,00		
	Construcción Industrial	0,04	0,25	0,20	0,26	0,08	0,10	1,00	
	Proyecto Fin de Carrera	0,24	0,17	-0,01	0,16	0,04	0,18	0,14	1,00

Tabla 29. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.

Como consecuencia del análisis de las matrices de correlaciones entre las calificaciones, sin ponderar, de las materias correspondientes a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electricidad, Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29, se obtienen las siguientes valoraciones:

- Las correlaciones más altas se obtienen en Electrónica Industrial con Circuitos Eléctricos (0,38) y con Programación Industrial (0,36).
- Hay materias que obtienen correlaciones muy próximas a cero y, en algunos casos, negativas.
- En general, los coeficientes de correlación obtenidos entre las calificaciones de las materias son bajos.

2.1.2 Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial.

Los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos entre las calificaciones, sin ponderar, de las materias, se muestran en las siguientes tablas: Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32.

Materias		Primer curso								
		Física	Matemáticas I	Teoría de circuitos	Fund. de Informática	Expresión Gráfica	Tecnología Electrónica	Estadística	Química	Sistemas Mecánicos
Primer curso	Física	1,00								
	Matemáticas I	0,06	1,00							
	Teoría de circuitos	0,12	-0,05	1,00						
	Fund. de Informática	0,25	0,15	0,10	1,00					
	Expresión Gráfica	0,23	0,09	0,14	0,22	1,00				
	Tecnología Electrónica	0,12	0,17	0,15	0,25	0,18	1,00			
	Estadística	0,11	0,12	0,13	0,08	0,12	0,21	1,00		
	Química	0,16	0,26	0,14	0,27	0,14	0,19	0,21	1,00	
	Sistemas Mecánicos	0,00	0,07	0,01	0,01	0,06	0,04	0,06	0,12	1,00
Segundo curso	Regulación Automática	-0,08	-0,04	0,02	0,05	0,04	0,09	0,03	0,01	0,06
	Electrónica Analógica	0,18	0,08	0,12	0,20	0,17	0,29	0,20	0,25	0,25
	Electrónica Digital	0,07	0,07	0,03	0,05	0,11	0,11	0,13	0,06	0,02
	Diseño de Sist. Electrónicos	0,22	0,16	-0,01	0,26	0,19	0,12	0,13	0,23	0,06
	Sistemas Eléctricos	0,09	0,08	0,02	0,02	0,06	0,06	0,04	0,06	0,04
	Programación Industrial	0,14	0,22	0,07	0,20	0,09	0,05	0,05	0,22	0,03
	Sistemas Oleoneumáticos	0,11	0,17	-0,03	0,18	0,09	0,16	0,06	0,29	0,13
	Matemáticas II	0,24	0,15	0,05	0,22	0,22	0,06	0,11	0,30	0,09
Tercer curso	Informática Industrial	0,05	0,13	0,04	0,11	0,09	0,13	0,07	0,19	0,08
	Automatización Industrial	0,06	-0,01	0,09	0,09	0,12	0,07	-0,05	0,11	0,13
	Instrum. Electrónica	0,15	0,05	-0,01	0,06	0,15	0,05	0,10	0,00	-0,08
	Oficina Técnica	0,20	0,13	0,02	0,19	0,14	0,07	0,07	0,19	-0,02
	Admón. de Empr. y O. Ind.	0,19	0,00	0,01	0,14	0,22	0,08	0,03	0,17	0,05
	Electrónica de Potencia	0,10	0,06	0,09	0,16	0,18	0,17	0,09	0,08	0,10
	Tecnología Energética	0,05	0,00	0,01	0,09	0,13	0,02	0,14	0,08	0,00
	Proyecto Fin de Carrera	0,15	0,05	0,03	0,10	0,03	0,22	0,11	0,13	0,15

Tabla 30. Matriz de correlaciones de materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.

Materias		Segundo curso							
		Regulación Automática	Electrónica Analógica	Electrónica Digital	Diseño de Sist. Electrónicos	Sistemas Eléctricos	Programación Industrial	Sistemas Oleoneumáticos	Matemáticas II
Segundo curso	Regulación Automática	1,00							
	Electrónica Analógica	0,09	1,00						
	Electrónica Digital	0,16	0,11	1,00					
	Diseño de Sist. Electr.	0,01	0,22	0,10	1,00				
	Sistemas Eléctricos	0,00	0,16	0,02	0,15	1,00			
	Programación Industrial	0,02	0,05	0,01	0,25	-0,02	1,00		
	Sistemas Oleoneumáticos	0,01	0,18	0,05	0,16	0,03	0,21	1,00	
	Matemáticas II	0,01	0,26	0,11	0,28	0,11	0,19	0,23	1,00
Tercer curso	Informática Industrial	0,09	0,08	0,17	0,19	0,03	0,18	0,17	0,17
	Automatización Industrial	0,18	0,13	0,10	0,14	-0,02	0,06	0,22	0,23
	Instrum. Electrónica	0,20	0,06	0,17	0,05	0,01	0,05	0,03	0,08
	Oficina Técnica	0,07	0,16	0,15	0,28	0,18	0,06	0,17	0,20
	Admón. de E. y O. Ind.	0,07	0,12	0,22	0,16	0,15	0,05	0,12	0,18
	Electrónica de Potencia	0,11	0,24	0,09	0,15	0,07	0,15	0,09	0,14
	Tecnología Energética	0,02	0,12	-0,06	0,20	0,01	0,09	0,12	0,02
	Proyecto Fin de Carrera	-0,04	0,19	0,06	0,31	-0,05	0,15	0,03	0,11

156

Tabla 31. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.

Materias		Tercer curso							
		Informática Industrial	Automatización Industrial	Instrumentación Electrónica	Oficina Técnica	Admón. de Empresas y Organización Industrial	Electrónica de Potencia	Tecnología Energética	Proyecto Fin de Carrera
Tercer curso	Informática Industrial	1,00							
	Automatización Industrial	0,24	1,00						
	Instrumentación Electrónica	0,31	0,12	1,00					
	Oficina Técnica	0,08	0,11	0,02	1,00				
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,11	0,23	0,04	0,29	1,00			
	Electrónica de Potencia	0,15	0,25	0,13	0,08	0,23	1,00		
	Tecnología Energética	0,08	0,11	0,00	0,08	0,18	0,03	1,00	
	Proyecto Fin de Carrera	0,02	0,05	0,00	0,14	-0,02	0,01	0,05	1,00

Tabla 32. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.

Una vez realizado el análisis de las matrices de correlaciones entre las calificaciones, sin ponderar, de las materias correspondientes a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial, Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32, se obtienen las siguientes valoraciones:

- Las correlaciones más altas se obtienen entre Diseño de Sistemas Electrónicos y el Proyecto Fin de Carrera (0,31) y entre Instrumentación Electrónica e Informática Industrial (0,31).
- Hay materias que obtienen correlaciones muy próximas a cero y, en algunos casos, negativas.
- En general, los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos entre las calificaciones de las materias son bajos.

3 CUARTA ETAPA

En esta cuarta etapa, se incorporan las calificaciones de cada materia cursada por los estudiantes, ponderadas¹⁴ según la convocatoria en la que se supera la asignatura. El objetivo es comprobar cómo influye, en los coeficientes de correlación, el número de convocatorias agotadas en cada materia para aprobarla.

En el análisis de esta etapa se utilizan los datos de los mismos estudiantes manejados en la tercera etapa.

3.1 Análisis de correlación.

En este apartado se efectúa el análisis de correlación entre las calificaciones ponderadas de 225 estudiantes de la titulación de ITI, Electricidad y de 254 estudiantes de la titulación de ITI, Electrónica.

Se incluye también el análisis de correlación de las convocatorias, utilizando los mismos datos mencionados anteriormente.

Seguidamente se indican los estudios realizados en cada titulación, correspondientes a la cuarta etapa.

¹⁴ Se calcula la calificación de cada materia, penalizada según la convocatoria en la que se supera. Se aplica lo especificado en la "Guía para la declaración de nota media de estudios en España, publicada por el Ministerio de Educación"

- 1ª convocatoria sin penalización
- 2ª convocatoria penalización de -0,20
- 3ª convocatoria penalización de -0,40
- 4ª convocatoria o superiores penalización de -0,80

3.1.1 ITI, Electricidad. Coeficientes de correlación entre calificaciones

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las calificaciones ponderadas de las materias, se muestran en las siguientes tablas: Tabla 33, Tabla 34 y Tabla 35.

Materias		Primer curso								
		Física	Matemáticas I	Teoría de circuitos	Fund. de Informática	Expresión Gráfica	Estadística	Química	Materiales El. y Mg.	Teoría de Mec. y Estr.
Primer curso	Física	1,00								
	Matemáticas I	0,35	1,00							
	Teoría de circuitos 1	0,14	0,19	1,00						
	Fund. de Informática	0,34	0,30	0,20	1,00					
	Expresión Gráfica	0,31	0,30	0,16	0,29	1,00				
	Estadística	0,17	0,15	0,08	0,17	0,04	1,00			
	Química	0,26	0,15	0,08	0,30	0,26	0,12	1,00		
	Materiales El. y Mg.	0,30	0,28	0,15	0,25	0,23	0,18	0,37	1,00	
	Teoría de Mec. y Estr.	0,30	0,21	0,00	0,25	0,24	0,03	0,24	0,26	1,00
Segundo curso	Electrometría	0,14	0,16	0,08	0,16	0,21	0,10	0,21	0,29	0,15
	Electrónica Industrial	0,36	0,28	0,15	0,29	0,28	0,28	0,18	0,33	0,29
	Instalaciones Eléctricas	0,20	0,10	0,13	0,22	0,18	0,07	0,19	0,28	0,10
	Regulación Automática	0,09	0,09	-0,03	0,09	0,13	0,01	0,11	0,10	0,11
	Máquinas Eléctricas I	0,06	0,04	0,07	0,12	0,07	0,06	0,16	0,22	0,00
	Circuitos Eléctricos	0,22	0,19	0,09	0,19	0,19	0,18	0,20	0,25	0,17
	Programación Industrial	0,31	0,34	0,14	0,20	0,25	0,09	0,24	0,31	0,21
	Matemáticas II	0,28	0,26	0,24	0,25	0,29	0,09	0,23	0,22	0,29
	Mecánica de Fl. y Term.	0,25	0,30	0,18	0,25	0,30	0,04	0,23	0,26	0,21
Tercer curso	Transporte de En. El.	0,21	0,03	0,07	0,10	0,12	0,13	0,14	0,21	0,05
	Centrales Eléctricas	0,17	0,12	0,19	0,15	0,13	0,09	0,11	0,19	0,07
	Máquinas Eléctricas II	0,20	0,14	0,16	0,15	0,24	0,13	0,09	0,18	0,09
	Oficina Técnica	0,12	0,21	0,12	0,19	0,24	0,12	0,19	0,31	0,14
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,12	0,14	0,09	0,13	-0,01	0,16	0,15	0,16	0,07
	Aplicación de Máq. El.	-0,16	-0,05	-0,02	-0,20	-0,11	-0,08	-0,15	-0,15	-0,09
	Construcción Industrial	0,17	0,23	0,14	0,20	0,24	0,04	0,11	0,18	0,18
	Proyecto Fin de Carrera	0,11	0,16	0,11	0,09	0,19	0,05	0,15	0,20	0,08

Tabla 33. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.

Materias		Segundo curso								
		Electrometría	Electrónica Industrial	Instalaciones Eléctricas	Regulación Automática	Máquinas Eléctricas I	Circuitos Eléctricos	Programación Industrial	Matemáticas II	Mecánica de Fl. y Term.
Segundo curso	Electrometría	1,00								
	Electrónica Industrial	0,35	1,00							
	Instalaciones Eléctricas	0,34	0,30	1,00						
	Regulación Automática	0,13	0,17	0,22	1,00					
	Máquinas Eléctricas I	0,19	0,10	0,12	0,07	1,00				
	Circuitos Eléctricos	0,29	0,42	0,23	0,12	0,00	1,00			
	Programación Industrial	0,34	0,40	0,23	0,09	0,19	0,26	1,00		
	Matemáticas II	0,24	0,33	0,10	0,16	0,07	0,25	0,28	1,00	
	Mecánica de Fl. y Term.	0,23	0,34	0,30	0,09	0,03	0,19	0,29	0,26	1,00
Tercer curso	Transporte de En. El.	0,21	0,21	0,22	0,09	0,09	0,19	0,08	0,08	0,09
	Centrales Eléctricas	0,31	0,35	0,17	0,05	0,20	0,31	0,29	0,13	0,16
	Máquinas Eléctricas II	0,17	0,22	0,16	0,20	0,27	0,12	0,14	0,11	0,16
	Oficina Técnica	0,26	0,30	0,16	0,13	0,05	0,20	0,31	0,26	0,19
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,05	0,21	0,00	0,05	0,05	0,04	0,19	0,01	0,09
	Aplicación de Máq. El.	-0,18	-0,24	-0,15	-0,07	-0,22	-0,08	-0,34	-0,08	-0,16
	Construcción Industrial	0,17	0,26	0,23	0,26	0,23	0,15	0,28	0,14	0,18
	Proyecto Fin de Carrera	0,25	0,29	0,17	0,07	0,13	0,28	0,18	0,17	0,20

Tabla 34. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.

Materias		Tercer curso							
		Transporte de En. El.	Centrales Eléctricas	Máquinas Eléctricas II	Oficina Técnica	Admón. de Empresas y Org. Ind.	Aplicación de Máq. El.	Construcción Industrial	Proyecto Fin de Carrera
Tercer curso	Transporte de En. El.	1,00							
	Centrales Eléctricas	0,27	1,00						
	Máquinas Eléctricas II	0,22	0,29	1,00					
	Oficina Técnica	0,17	0,28	0,12	1,00				
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,01	0,18	0,02	0,16	1,00			
	Aplicación de Máq. El.	-0,16	-0,30	-0,24	-0,23	-0,09	1,00		
	Construcción Industrial	0,07	0,27	0,25	0,31	0,09	-0,14	1,00	
	Proyecto Fin de Carrera	0,27	0,20	0,02	0,18	0,04	-0,18	0,15	1,00

Tabla 35. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.

Como consecuencia del análisis de las matrices de correlaciones entre las calificaciones ponderadas de las materias, correspondientes a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electricidad, Tabla 33, Tabla 34 y Tabla 35, se obtienen las siguientes valoraciones:

- Las correlaciones más altas se obtienen en Electrónica Industrial con Circuitos Eléctricos (0,42) y con Programación Industrial (0,40).
- Hay materias que obtienen correlaciones muy próximas a cero y, en algunos casos, negativas.
- En general, los coeficientes de correlación que se obtienen entre las calificaciones de las materias son bajos.

3.1.2 ITI, Electricidad. Coeficientes de correlación entre convocatorias

Los coeficientes de correlación resultantes entre las convocatorias de las materias, se indican en las siguientes tablas: Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38.

Materias		Primer curso								
		Física	Matemáticas I	Teoría de circuitos	Fund. de Informática	Expresión Gráfica	Estadística	Química	Materiales El. y Mg.	Teoría de Mec. y Estr.
Primer curso	Física	1,00								
	Matemáticas I	0,26	1,00							
	Teoría de circuitos 1	0,22	0,21	1,00						
	Fund. de Informática	0,21	0,17	0,05	1,00					
	Expresión Gráfica	0,26	0,29	0,20	0,25	1,00				
	Estadística	0,24	0,22	0,16	0,23	0,24	1,00			
	Química	0,22	0,07	0,11	0,32	0,09	0,17	1,00		
	Materiales El. y Mg.	0,31	0,31	0,27	0,09	0,12	0,24	0,11	1,00	
	Teoría de Mec. y Estr.	0,19	0,33	0,07	0,42	0,25	0,20	0,42	0,30	1,00
Segundo curso	Electrometría	0,24	0,18	0,17	0,05	0,17	0,06	0,15	0,28	0,16
	Electrónica Industrial	0,22	0,10	0,06	0,00	0,09	0,29	0,03	0,16	0,07
	Instalaciones Eléctricas	0,23	0,17	0,17	-0,01	0,05	0,04	0,08	0,34	0,23
	Regulación Automática	0,18	0,15	0,30	0,09	0,21	0,10	0,22	0,28	0,17
	Máquinas Eléctricas I	0,06	0,08	0,19	0,02	0,00	0,07	0,05	0,17	0,05
	Circuitos Eléctricos	0,23	0,16	0,21	0,10	0,28	0,17	0,09	0,24	0,28
	Programación Industrial	0,10	0,08	0,15	0,08	0,07	0,02	0,09	0,15	0,10
	Matemáticas II	0,15	0,10	0,02	0,06	0,11	0,28	0,09	0,16	0,25
Mecánica de Fl. y Term.	0,28	0,12	0,18	0,10	0,13	0,19	0,12	0,20	0,23	
Tercer curso	Transporte de En. El.	0,18	0,17	0,12	-0,09	0,25	0,12	0,04	0,16	0,05
	Centrales Eléctricas	0,09	0,07	0,05	-0,03	0,00	0,07	0,13	0,21	0,05
	Máquinas Eléctricas II	0,11	0,15	0,23	-0,01	0,07	0,12	0,18	0,19	0,19
	Oficina Técnica	0,08	0,14	0,25	0,26	0,26	0,06	0,14	0,25	0,26
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,01	0,03	0,07	-0,01	-0,03	-0,03	0,07	0,07	0,06
	Aplicación de Máq. El.	0,09	0,11	0,09	0,02	0,16	0,09	0,22	0,18	0,12
	Construcción Industrial	0,17	0,03	0,13	0,23	0,19	0,22	-0,06	0,15	0,04

Tabla 36. Matriz de correlación entre convocatorias. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.

Materias		Segundo curso								
		Electrometría	Electrónica Industrial	Instalaciones Eléctricas	Regulación Automática	Máquinas Eléctricas I	Circuitos Eléctricos	Programación Industrial	Matemáticas II	Mecánica de Fl. y Term.
Segundo curso	Electrometría	1,00								
	Electrónica Industrial	0,10	1,00							
	Instalaciones Eléctricas	0,15	0,18	1,00						
	Regulación Automática	0,20	0,12	0,22	1,00					
	Máquinas Eléctricas I	0,25	0,17	0,10	0,24	1,00				
	Circuitos Eléctricos	0,20	0,09	0,20	0,21	0,09	1,00			
	Programación Industrial	0,33	0,10	0,14	0,20	0,28	0,19	1,00		
	Matemáticas II	0,06	0,15	0,09	0,11	-0,01	0,08	0,07	1,00	
	Mecánica de Fl. y Term.	0,12	0,14	0,27	0,18	0,24	0,14	0,24	0,25	1,00
Tercer curso	Transporte de En. El.	0,24	0,07	0,19	0,12	0,12	0,17	0,18	0,09	0,19
	Centrales Eléctricas	0,12	0,22	0,23	0,18	0,14	0,13	0,09	-0,01	-0,01
	Máquinas Eléctricas II	0,17	0,17	0,18	0,34	0,25	0,13	0,20	0,07	0,14
	Oficina Técnica	0,19	0,12	0,13	0,34	0,13	0,21	0,21	0,07	0,11
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,11	0,16	0,17	0,08	0,08	0,04	0,16	-0,02	0,09
	Aplicación de Máq. El.	0,28	0,23	0,18	0,33	0,18	0,19	0,26	0,00	0,06
	Construcción Industrial	0,11	0,22	0,14	0,16	0,11	0,13	0,23	0,11	0,02

Tabla 37. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.

Materias		Tercer curso						
		Transporte de En. El.	Centrales Eléctricas	Máquinas Eléctricas II	Oficina Técnica	Admón. de Empresas y Org. Ind.	Aplicación de Máq. El.	Construcción Industrial
Tercer curso	Transporte de En. El.	1,00						
	Centrales Eléctricas	0,03	1,00					
	Máquinas Eléctricas II	0,29	0,25	1,00				
	Oficina Técnica	0,14	0,24	0,22	1,00			
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	-0,02	0,12	0,10	0,09	1,00		
	Aplicación de Máq. El.	0,22	0,20	0,38	0,19	0,25	1,00	
	Construcción Industrial	0,06	0,23	0,08	0,28	0,03	0,07	1,00

Tabla 38. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 3º.

Una vez realizado el análisis de las matrices de correlaciones entre las convocatorias de las materias, correspondientes a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electricidad, Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38, se obtienen las siguientes valoraciones:

- Las correlaciones más altas se obtienen en Teoría de Mecanismos y Estructuras, con Fundamentos de Informática y con Química. En ambos casos, el coeficiente de correlación es de 0,42.
- En la mayoría de las materias se obtienen correlaciones muy próximas a cero y, en algunos casos, negativas.
- En general, los coeficientes de correlación que se obtienen entre las convocatorias agotadas en cada materia son bajas.

3.1.3 ITI, Electrónica. Coeficientes de correlación entre calificaciones

Los coeficientes de correlación resultantes entre las calificaciones ponderadas de las materias, se indican en las siguientes tablas: Tabla 39, Tabla 40 y Tabla 41.

Materias		Primer curso								
		Física	Matemáticas I	Teoría de circuitos	Fund. De Informática	Expresión Gráfica	Tecnología Electrónica	Estadística	Química	Sistemas Mecánicos
Primer curso	Física	1,00								
	Matemáticas I	0,15	1,00							
	Teoría de circuitos	0,19	0,01	1,00						
	Fund. De Informática	0,30	0,21	0,15	1,00					
	Expresión Gráfica	0,24	0,14	0,17	0,22	1,00				
	Tecnología Electrónica	0,17	0,25	0,18	0,29	0,20	1,00			
	Estadística	0,15	0,17	0,19	0,13	0,14	0,28	1,00		
	Química	0,22	0,31	0,17	0,31	0,16	0,25	0,28	1,00	
	Sistemas Mecánicos	0,05	0,16	0,04	0,04	0,11	0,11	0,14	0,17	1,00
Segundo curso	Regulación Automática	-0,04	-0,04	0,01	0,02	0,04	0,06	0,04	-0,01	0,09
	Electrónica Analógica	0,23	0,16	0,18	0,24	0,21	0,37	0,27	0,30	0,30
	Electrónica Digital	0,10	0,13	0,09	0,09	0,11	0,14	0,17	0,09	0,10
	Diseño de Sist. Electrónicos	0,25	0,21	0,04	0,27	0,20	0,17	0,19	0,25	0,10
	Sistemas Eléctricos	0,13	0,11	0,04	0,05	0,09	0,07	0,07	0,07	0,06
	Programación Industrial	0,17	0,26	0,11	0,22	0,11	0,08	0,10	0,22	0,05
	Sistemas Oleoneumáticos	0,13	0,20	-0,01	0,18	0,09	0,19	0,11	0,33	0,20
	Matemáticas II	0,27	0,21	0,10	0,23	0,24	0,11	0,19	0,34	0,15
Tercer curso	Informática Industrial	0,07	0,18	0,07	0,15	0,13	0,14	0,10	0,20	0,10
	Automatización Industrial	0,13	0,06	0,14	0,13	0,17	0,09	0,03	0,14	0,18
	Instr. Electrónica	0,14	0,08	0,03	0,06	0,16	0,07	0,12	0,01	-0,06
	Oficina Técnica	0,20	0,13	0,05	0,21	0,16	0,10	0,10	0,23	0,01
	Admón. de Empresas y O. I.	0,20	0,04	0,06	0,14	0,23	0,11	0,08	0,16	0,08
	Electrónica de Potencia	0,15	0,12	0,12	0,17	0,21	0,21	0,13	0,11	0,14
	Tecnología Energética	0,07	0,01	0,02	0,10	0,17	0,06	0,17	0,07	0,00
	Proyecto Fin de Carrera	0,17	0,09	0,05	0,11	0,05	0,22	0,13	0,14	0,18

Tabla 39. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.

Materias		Segundo curso							
		Regulación Automática	Electrónica Analógica	Electrónica Digital	Diseño de Sist. Electrónicos	Sistemas Eléctricos	Programación Industrial	Sistemas Oleoneumáticos	Matemáticas II
Segundo curso	Regulación Automática	1,00							
	Electrónica Analógica	0,09	1,00						
	Electrónica Digital	0,19	0,13	1,00					
	Diseño de Sist. Electr.	0,03	0,27	0,15	1,00				
	Sistemas Eléctricos	-0,01	0,20	0,04	0,16	1,00			
	Programación Industrial	0,04	0,08	0,06	0,25	-0,01	1,00		
	Sist. Oleoneumáticos	0,02	0,22	0,06	0,18	0,06	0,21	1,00	
	Matemáticas II	0,04	0,30	0,12	0,29	0,13	0,21	0,26	1,00
Tercer curso	Informática Industrial	0,14	0,09	0,23	0,20	0,02	0,22	0,16	0,16
	Automatización Ind.	0,23	0,17	0,16	0,17	0,01	0,13	0,24	0,25
	Inst. Electrónica	0,25	0,08	0,22	0,06	0,02	0,07	0,01	0,08
	Oficina Técnica	0,10	0,19	0,16	0,29	0,19	0,09	0,19	0,22
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,10	0,16	0,22	0,18	0,16	0,06	0,13	0,22
	Electrónica de Potencia	0,15	0,28	0,13	0,19	0,08	0,14	0,11	0,18
	Tecnología Energética	0,04	0,13	-0,03	0,21	0,01	0,10	0,13	0,01
	Proyecto Fin de Carrera	-0,01	0,19	0,10	0,32	-0,06	0,16	0,02	0,11

Tabla 40. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.

Materias		Tercer curso							
		Informática Industrial	Automatización Industrial	Instrumentación Electrónica	Oficina Técnica	Admón. de Empresas y Org. Ind.	Electrónica de Potencia	Tecnología Energética	Proyecto Fin de Carrera
Tercer curso	Informática Industrial	1,00							
	Automatización Ind.	0,31	1,00						
	Inst. Electrónica	0,35	0,18	1,00					
	Oficina Técnica	0,09	0,12	0,02	1,00				
	Administración de Empr.	0,13	0,21	0,05	0,32	1,00			
	Electrónica de Potencia	0,20	0,29	0,18	0,10	0,21	1,00		
	Tecnología Energética	0,11	0,15	0,01	0,12	0,23	0,07	1,00	
	Proyecto Fin de Carrera	0,04	0,08	0,02	0,13	0,00	0,03	0,07	1,00

Tabla 41. Matriz de correlaciones entre calificaciones. Materias de 3º.

Del análisis de las matrices de correlaciones que se obtienen entre las calificaciones ponderadas de las materias, correspondientes a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica, que se muestran en la Tabla 39, Tabla 40 y Tabla 41, se obtienen las siguientes valoraciones:

- Las correlaciones más altas se obtienen entre Electrónica Analógica y Tecnología Electrónica (0,37) y entre Instrumentación Electrónica e Informática Industrial (0,35).
- Hay materias que obtienen correlaciones muy próximas a cero y, en algunos casos, negativas.
- En general, los coeficientes de correlación que se obtienen entre las calificaciones de las materias son bajos.

3.1.4 ITI, Electrónica. Coeficientes de correlación entre convocatorias

Los coeficientes de correlación resultantes entre las convocatorias de las materias, se indican en las siguientes tablas: Tabla 42, Tabla 43 y Tabla 44.

Materias		Primer curso								
		Física	Matemáticas I	Teoría de circuitos	Fund. De Informática	Expresión Gráfica	Tecnología Electrónica	Estadística	Química	Sistemas Mecánicos
Primer curso	Física	1,00								
	Matemáticas I	0,41	1,00							
	Teoría de circuitos	0,33	0,27	1,00						
	Fund. De Informática	0,30	0,24	0,07	1,00					
	Expresión Gráfica	0,40	0,27	0,27	0,06	1,00				
	Tecnología Electrónica	0,45	0,39	0,27	0,27	0,28	1,00			
	Estadística	0,34	0,28	0,29	0,10	0,16	0,29	1,00		
	Química	0,33	0,40	0,13	0,25	0,19	0,42	0,16	1,00	
	Sistemas Mecánicos	0,36	0,36	0,12	0,14	0,22	0,28	0,30	0,23	1,00
Segundo curso	Regulación Automática	-0,02	-0,10	0,07	-0,12	0,00	-0,08	0,07	-0,16	0,04
	Electrónica Analógica	0,30	0,33	0,23	0,17	0,22	0,22	0,15	0,19	0,29
	Electrónica Digital	0,19	0,15	0,17	0,11	0,20	0,13	0,21	0,11	0,20
	Diseño de Sist. Electrónicos	0,21	0,20	0,06	0,19	0,10	0,15	0,19	0,15	0,16
	Sistemas Eléctricos	0,21	0,15	0,12	0,06	0,07	0,12	0,14	-0,02	0,22
	Programación Industrial	0,06	0,04	0,21	0,09	0,15	0,17	0,12	-0,01	0,07
	Sistemas Oleoneumáticos	0,22	0,17	0,07	0,00	0,18	0,26	0,15	0,18	0,30
	Matemáticas II	0,15	0,25	0,10	0,09	0,14	0,27	0,20	0,20	0,19
Tercer curso	Informática Industrial	0,14	0,12	0,11	0,03	0,14	0,21	0,09	0,10	0,21
	Automatización Industrial	0,21	0,11	0,28	0,08	0,13	0,11	0,22	0,17	0,16
	Instr. Electrónica	0,02	0,05	0,06	-0,01	-0,02	0,02	0,06	0,03	0,02
	Oficina Técnica	0,06	0,09	0,24	0,03	0,17	0,06	0,16	0,11	0,14
	Admón. de Empresas y O. I.	0,04	0,08	0,16	-0,03	0,03	0,07	0,09	0,01	0,14
	Electrónica de Potencia	0,07	0,11	0,16	0,01	0,02	0,22	0,27	0,11	0,18
	Tecnología Energética	0,28	0,14	0,19	0,05	0,08	0,24	0,07	0,17	0,17

Tabla 42. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 1º con materias de 1º, 2º y 3º.

Materias		Segundo curso							
		Regulación Automática	Electrónica Analógica	Electrónica Digital	Diseño de Sist. Electrónicos	Sistemas Eléctricos	Programación Industrial	Sistemas Oleoneumáticos	Matemáticas II
Segundo curso	Regulación Automática	1,00							
	Electrónica Analógica	-0,05	1,00						
	Electrónica Digital	-0,03	0,33	1,00					
	Diseño de Sist. Electr.	0,03	0,17	0,06	1,00				
	Sistemas Eléctricos	0,08	0,18	0,10	0,20	1,00			
	Programación Industrial	0,11	0,15	0,17	0,14	0,11	1,00		
	Sist. Oleoneumáticos	0,02	0,13	0,15	0,22	0,22	0,11	1,00	
	Matemáticas II	0,03	0,22	0,03	0,15	0,17	0,05	0,17	1,00
Tercer curso	Informática Industrial	0,12	0,17	0,36	0,13	0,09	0,08	0,20	0,08
	Automatización Ind.	0,13	0,21	0,31	0,05	0,14	0,14	0,30	0,07
	Inst. Electrónica	0,20	0,06	0,15	-0,07	0,12	0,09	0,03	0,11
	Oficina Técnica	-0,05	0,16	0,06	0,05	0,12	0,10	0,20	0,06
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,20	0,10	0,12	-0,03	0,05	0,15	0,14	0,05
	Electrónica de Potencia	0,19	0,11	0,27	0,09	0,11	0,02	0,13	0,07
	Tecnología Energética	-0,07	0,21	0,17	0,10	0,03	0,10	0,20	0,15

Tabla 43. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 2º con materias de 2º y 3º.

168

Materias		Tercer curso						
		Informática Industrial	Automatización Industrial	Instrumentación Electrónica	Oficina Técnica	Admón. de Empresas y Org. Ind.	Electrónica de Potencia	Tecnología Energética
Tercer curso	Informática Industrial	1,00						
	Automatización Ind.	0,31	1,00					
	Inst. Electrónica	0,29	0,29	1,00				
	Oficina Técnica	0,09	0,17	0,00	1,00			
	Admón. de Empresas y Org. Ind.	0,20	0,21	0,15	0,12	1,00		
	Electrónica de Potencia	0,16	0,22	0,14	0,05	0,08	1,00	
	Tecnología Energética	0,13	0,25	0,14	0,12	0,32	0,04	1,00

Tabla 44. Matriz de correlaciones entre convocatorias. Materias de 3º.

Del análisis de las matrices de correlaciones que se obtienen entre las convocatorias de las materias de la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica, que se muestran en la Tabla 42, Tabla 43 y Tabla 44, se obtienen las siguientes valoraciones:

- Las correlaciones más altas se obtienen en Tecnología Electrónica, con Física (0,45) y con Química (0,42).
- Hay materias que obtienen correlaciones muy próximas a cero y, en algunos casos, negativas.
- En general, los coeficientes de correlación que se obtienen entre las calificaciones de las materias son bajos.

*Capítulo 10. Resultados del
modelado del rendimiento
académico basado en técnicas
avanzadas*

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos mediante la utilización de técnicas avanzadas, partiendo de los datos empleados en la cuarta etapa, es decir, las calificaciones y las convocatorias agotadas por los estudiantes para superar cada materia del plan de estudios.

En los dos primeros apartados se detallan los resultados por cada titulación y en los dos últimos se incluye un resumen de los resultados del MAE obtenido, y el rendimiento de las técnicas utilizadas.

2 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ELECTRICIDAD

Se han utilizado dos procesos de modelado, “hacia delante” y “lateral”. A continuación se describe cada tipo de modelado y los resultados obtenidos.

2.1 Modelado hacia delante

En este tipo de modelado se parte del supuesto de que el estudiante va superando todas las materias de cada curso antes de afrontar el siguiente. Se procede como se indica a continuación:

- Con las notas de acceso a la titulación se modelan las calificaciones y convocatorias de cada materia del primer curso.
- Las calificaciones y convocatorias de cada materia del segundo curso se predicen a partir de las notas de acceso y de todas las materias del primer curso.
- Para las materias del tercer curso, se utilizan las notas de acceso y la totalidad de las materias de primero y de segundo.
- Finalmente, se modela la calificación de la materia correspondiente al Proyecto Fin de Carrera con las notas de acceso y las materias de primero, segundo y tercer curso. El esquema de modelado se resume en la Ilustración 94.

La nomenclatura utilizada en las tablas de resultados para denominar los mejores algoritmos de cada modelo es la siguiente:

- RNA-N. Red Neuronal Artificial-Número de neuronas de la capa oculta. Por ejemplo, RNA-3 corresponde a una Red Neuronal Artificial con 3 neuronas en la capa oculta.
- LS-SVR. Least Squares Support Vector Regression. Máquinas de Vectores Soporte para Regresión basadas en el método de mínimos cuadrados.
- Poli-M. Regresión polinomial-Grado del polinomio. Ejemplo: Poli-5 corresponde a una regresión polinomial de grado cinco.

Para seleccionar la mejor configuración, en los modelos globales se selecciona aquel modelo que proporcione el menor valor de MSE, y en los modelos locales se tomará

como referencia el máximo MSE alcanzado en los grupos que conforman dicha configuración.

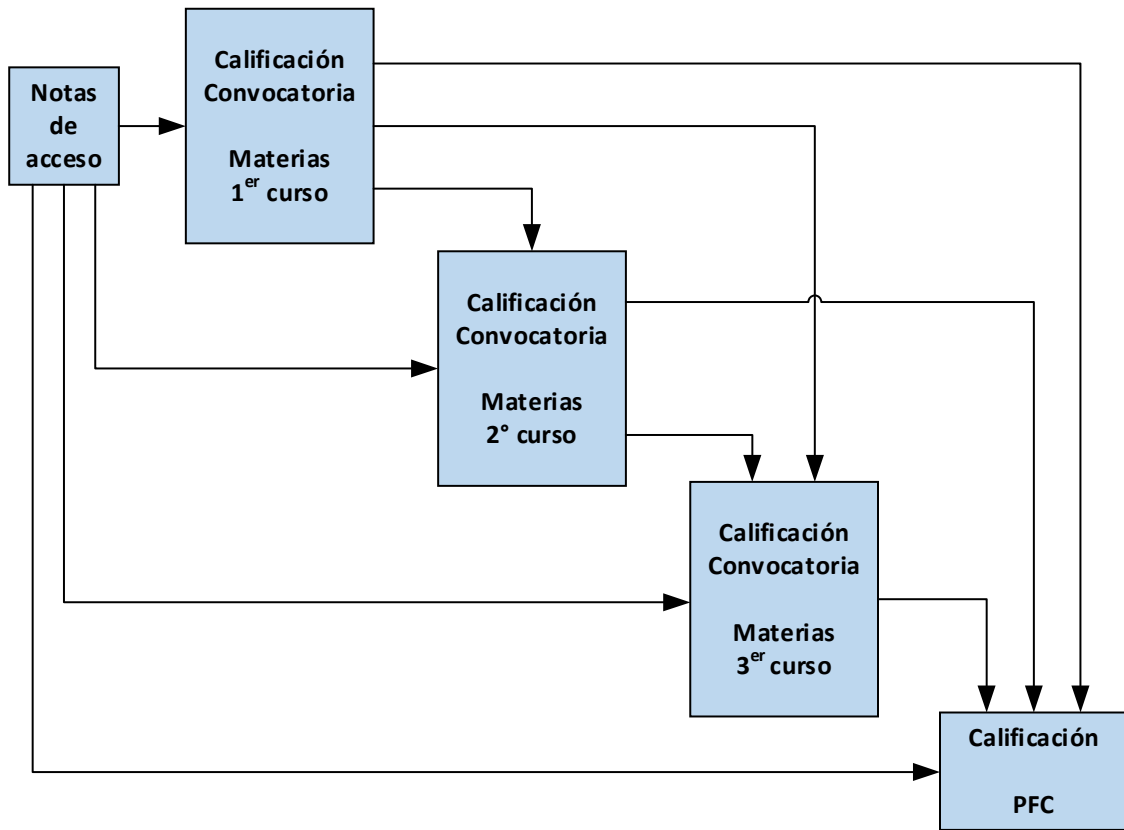


Ilustración 94. Esquema del modelado hacia delante.

2.1.1 Ejemplo de modelado de calificaciones

A continuación se presenta, a modo de ejemplo, los resultados del modelo para el cálculo de la calificación de la materia 101-Física, sólo con las notas de acceso.

El mejor modelado se obtendría con un modelo global, usando como algoritmo la regresión polinomial Poli-2, Tabla 45. Con esta configuración se obtiene un MAE de 0,8688 puntos, Tabla 46 y un MSE de 1,1102 (Tabla 47).

Nº clusters	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Poli-2								
2	Poli-2	Poli-2							
3	RNA-1	RNA-6	RNA-3						
4	Poli-3	Poli-1	Poli-5	Poli-5					
5	Poli-1	RNA-2	Poli-1	Poli-5	Poli-1				
6	RNA-3	Poli-7	RNA-1	RNA-3	RNA-2	Poli-2			
7	RNA-2	RNA-2	Poli-4	RNA-2	RNA-3	Poli-1	RNA-6		
8	Poli-6	RNA-1	RNA-3	RNA-2	Poli-2	Poli-5	RNA-2	Poli-5	
9	Poli-5	RNA-2	Poli-2	Poli-5	Poli-1	LS-SVR	RNA-2	RNA-2	Poli-5

Tabla 45. Mejores algoritmos por cluster, calificación.

Nº clusters	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8688								
2	0,9493	1,0144							
3	0,8703	0,8236	0,7811						
4	0,9234	0,9619	0,9027	0,7909					
5	0,7694	0,8617	0,9676	0,8824	1,0193				
6	0,8266	0,8302	0,9163	0,8115	0,8087	0,9441			
7	0,8322	0,9797	0,892	0,8503	0,8663	0,8157	0,8082		
8	0,8971	0,8929	0,8012	0,9259	0,9291	0,9122	0,9637	0,9374	
9	0,8639	0,9179	0,8054	0,933	0,9676	0,8999	0,9166	0,8957	0,8476

Tabla 46. Errores absolutos medios obtenidos por cluster, calificación.

Nº clusters	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,1102								
2	1,2664	1,7407							
3	1,1408	0,9813	0,9134						
4	1,211	1,503	1,1034	1,0543					
5	0,9096	1,1319	1,3574	1,2871	1,6752				
6	1,0358	0,998	1,1587	0,9726	0,9456	1,362			
7	0,9521	1,5575	1,142	1,0771	1,1196	1,0262	0,9396		
8	1,2413	1,2963	0,9215	1,2623	1,2882	1,1893	1,2517	1,22	
9	1,1679	1,4424	0,9429	1,2662	1,3089	1,3407	1,4764	1,3059	1,0634

Tabla 47. MSE obtenido por cluster, calificación.

2.1.2 Ejemplo de modelado de convocatorias

También como ejemplo, se muestran a continuación los resultados del modelo para el cálculo de la convocatoria de la asignatura 101 - Física, teniendo como datos de entrada las notas de acceso.

El mejor modelado para la convocatoria de la asignatura 101, se obtendría utilizando modelos locales para una configuración de 5 grupos, usando como algoritmos Poli-1, LS-SVR, Poli-1, RNA-1 y RNA-2, respectivamente (Tabla 48). Los errores absolutos que se obtienen con esta configuración se indican en la Tabla 49, y el valor de MSE que se usa como referencia es el mayor de los valores de los MSE de cada grupo, en este caso es de 0,9291 (Tabla 50).

Nº clusters	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	RNA-2								
2	RNA-3	Poli-1							
3	RNA-1	Poli-1	Poli-1						
4	LS-SVR	Poli-1	Poli-1	Poli-1					
5	Poli-1	LS-SVR	Poli-1	RNA-1	RNA-2				
6	RNA-2	Poli-1	RNA-1	RNA-1	RNA-1	LS-SVR			
7	Poli-1	RNA-1	LS-SVR	Poli-1	Poli-1	RNA-1	LS-SVR		
8	RNA-1	LS-SVR	Poli-1	RNA-1	Poli-1	Poli-1	RNA-2	Poli-1	
9	RNA-1	Poli-1	Poli-1	RNA-1	LS-SVR	RNA-1	Poli-1	RNA-3	LS-SVR

Tabla 48. Mejores algoritmos por cluster, convocatoria.

Nº clusters	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7848								
2	0,7111	0,7476							
3	0,5958	0,7591	0,7034						
4	0,6776	0,6215	0,6647	0,6872					
5	0,6828	0,6154	0,6944	0,59	0,6281				
6	0,7793	0,5722	0,7836	0,6965	0,599	0,6817			
7	0,7991	0,658	0,5852	0,6823	0,6722	0,7382	0,6778		
8	0,7127	0,6524	0,7423	0,7837	0,6548	0,7208	0,6428	0,7157	
9	0,7574	0,7463	0,7097	0,6601	0,6957	0,6756	0,7788	0,7413	0,7097

Tabla 49. Errores absolutos medios obtenidos por cluster, convocatoria.

Nº clusters	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,1332								
2	0,9448	1,0666							
3	0,6732	1,1234	0,7792						
4	0,7421	0,5569	0,8083	0,941					
5	0,9291	0,6967	0,7661	0,6748	0,7079				
6	1,194	0,5304	1,0571	0,8379	0,7505	0,9231			
7	1,0855	0,78	0,5038	0,8321	0,7686	1,1932	0,7412		
8	0,9353	0,8449	0,9826	0,9802	0,6558	1,0452	0,7722	0,8954	
9	1,1349	1,0315	0,954	0,7872	0,9802	0,8145	1,0887	1,103	1,0938

Tabla 50. MSE obtenido por cluster, convocatoria.

2.1.3 Resultados finales del modelado hacia delante para cada materia

Se relacionan a continuación las diferentes materias de la titulación, junto con las tablas resumen de los resultados para cada caso. Para cada materia, la parte superior de la tabla corresponde a los resultados del mejor modelo conseguido para la obtención de las calificaciones, y la parte inferior a los resultados del mejor modelo obtenido para las convocatorias agotadas.

Si se contrastan los resultados de los subapartados anteriores con el resumen que figura en la Tabla 51, se tendrá una mejor comprensión de los mismos. Se resaltan en negrilla los modelos seleccionados en cada caso, así como, el MSE y MAE medio obtenidos.

La relación es la siguiente:

- 101 - Física. Tabla 51.
- 102 - Matemáticas I. Tabla 52
- 103 - Teoría de Circuitos. Tabla 53.
- 104 - Fundamentos de Informática. Tabla 54.
- 105 - Expresión Gráfica. Tabla 55.
- 107 - Estadística. Tabla 56.
- 108 - Química. Tabla 57.
- 116 - Materiales Eléctricos y Magnéticos. Tabla 58.
- 120 - Teoría de Mecanismos y Estructuras. Tabla 59.
- 201 - Electrometría. Tabla 60.
- 202 - Electrónica Industrial. Tabla 61.
- 203 - Instalaciones Eléctricas. Tabla 62.
- 204 - Regulación Automática. Tabla 63.
- 206 - Máquinas Eléctricas I. Tabla 64.
- 207 - Circuitos Eléctricos. Tabla 65.
- 208 - Programación Industrial. Tabla 66.
- 209 - Matemáticas II. Tabla 67.
- 210 - Mecánica de Fluidos y Termodinámica. Tabla 68.
- 301 - Transporte de Energía Eléctrica. Tabla 69.
- 302 - Centrales Eléctricas. Tabla 70.
- 303 - Máquinas Eléctricas II. Tabla 71.
- 304 - Oficina Técnica. Tabla 72.
- 305 - Administración de Empresas y Organización Industrial. Tabla 73.
- 306 - Aplicación de Máquinas Eléctricas. Tabla 74.
- 307 - Construcción Industrial. Tabla 75.
- 310 - Proyecto Fin de Carrera. Tabla 76.

101 – Física						
Calificación	Número de clusters	1				
	Mejores algoritmos	Poli-2				
	MAE	0,8688				
	MSE	1,1102				
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4	5
	Mejores algoritmos	Poli-1	LS-SVR	Poli-1	RNA-1	RNA-2
	MAE	0,6828	0,6154	0,6944	0,59	0,6281
	MSE	0,9291	0,6967	0,7661	0,6748	0,7079

Tabla 51. Resultados de 101 - Física.

102 – Matemáticas I				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	Poli-6	Poli-3	Poli-4
	MAE	0,5309	0,5882	0,6277
	MSE	0,5022	0,5793	0,6082
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	Poli-2		
	MAE	0,833		
	MSE	1,2333		

Tabla 52. Resultados de 102 - Matemáticas I.

178

103 – Teoría de circuitos			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	Poli-5	
	MAE	0,9327	
	MSE	1,3117	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	Poli-1	RNA-1
	MAE	0,8088	0,7566
	MSE	1,1804	1,03

Tabla 53. Resultados de 103 - Teoría de Circuitos.

104 – Fundamentos de Informática			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	RNA-8	
	MAE	0,962	
	MSE	1,4354	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	Poli-5	RNA-2
	MAE	0,5384	0,6279
	MSE	0,5093	0,7032

Tabla 54. Resultados de 104 - Fundamentos de Informática.

105 – Expresión Gráfica						
Calificación	Número de clusters	1				
	Mejores algoritmos	Poli-2				
	MAE	0,8165				
	MSE	0,9175				
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4	5
	Mejores algoritmos	RNA-3	LS-SVR	Poli-1	Poli-1	Poli-4
	MAE	0,7822	0,7993	0,8077	0,8473	0,7825
	MSE	1,0124	0,9483	1,1468	0,9619	1,2015

Tabla 55. Resultados de 105 - Expresión Gráfica.

107 – Estadística		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,7039
	MSE	0,8854
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-2
	MAE	0,8618
	MSE	1,2624

Tabla 56. Resultados de 107 - Estadística.

108 – Química				
Calificación	Número de clusters	1	2	
	Mejores algoritmos	Poli-2	Poli-2	
	MAE	1,0802	1,0944	
	MSE	1,5074	1,5093	
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	Poli-1	LS-SVR	Poli-7
	MAE	0,2838	0,3141	0,2453
	MSE	0,1924	0,2735	0,1321

Tabla 57. Resultados de 108 - Química.

116 – Materiales Eléctricos y Magnéticos			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	Poli-4	
	MAE	0,7136	
	MSE	0,674	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	Poli-6	Poli-2
	MAE	0,7305	0,7008
	MSE	0,8805	0,8642

Tabla 58. Resultados de 116 - Materiales Eléctricos y Magnéticos.

120 – Teoría de Mecanismos y Estructuras		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	Poli-1
	MAE	0,7624
	MSE	1,1274
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	Poli-1
	MAE	0,8203
	MSE	1,0326

Tabla 59. Resultados de 120 - Teoría de Mecanismos y Estructuras.

201 – Electrometría		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-9
	MAE	0,8364
	MSE	0,9648
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	Poli-1
	MAE	0,635
	MSE	0,5911

Tabla 60. Resultados de 201-Electrometría.

180

202 – Electrónica Industrial			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	Poli-1
	MAE	0,5896	0,6015
	MSE	0,5295	0,5761
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	Poli-1	
	MAE	0,3133	
	MSE	0,252	

Tabla 61. Resultados de 202 - Electrónica Industrial.

203 – Instalaciones Eléctricas								
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4	5	6	7
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,0103	1,0295	1,037	0,9724	1,0051	0,9924	0,9861
	MSE	1,6901	1,6044	1,5974	1,5812	1,6725	1,5397	1,473
Convocatoria	Número de clusters	1						
	Mejores algoritmos	RNA-11						
	MAE	0,588						
	MSE	0,5052						

Tabla 62. Resultados de 203 - Instalaciones Eléctricas.

204 – Regulación Automática		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-10
	MAE	0,7982
	MSE	1,1173
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	1,2466
	MSE	2,2609

Tabla 63. Resultados de 204 - Regulación Automática.

206 – Máquinas Eléctricas I					
Calificación	Número de clusters	1	2		
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR		
	MAE	0,6972	0,6445		
	MSE	0,7539	0,8083		
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,0588	1,0494	0,9501	0,9709
	MSE	1,6872	1,5734	1,2942	1,4585

Tabla 64. Resultados de 206 - Máquinas Eléctricas I.

207 – Circuitos Eléctricos			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	RNA-2	LS-SVR
	MAE	0,9312	1,0025
	MSE	1,4062	1,3113
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	Poli-1	LS-SVR
	MAE	0,656	0,6908
	MSE	0,714	0,6774

Tabla 65. Resultados de 207 - Circuitos Eléctricos.

208 – Programación Industrial		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-6
	MAE	0,7884
	MSE	0,9292
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,6311
	MSE	0,5715

Tabla 66. Resultados de 208 - Programación Industrial.

209 – Matemáticas II			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,0163	1,1181
	MSE	1,412	1,6925
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,4741	
	MSE	0,3877	

Tabla 67. Resultados de 209 - Matemáticas II.

210 – Mecánica de Fluidos y Termodinámica			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,9284	
	MSE	1,2951	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,6911	0,6134
	MSE	0,7149	0,4799

Tabla 68. Resultados de 210 - Mecánica de Fluidos y Termodinámica.

182

301 – Transporte de Energía Eléctrica			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	RNA-4	
	MAE	0,9425	
	MSE	1,4023	
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,7963	
	MSE	0,8284	

Tabla 69. Resultados de 301 - Transporte de Energía Eléctrica.

302– Centrales Eléctricas			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,7207	
	MSE	0,8068	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	Poli-1	RNA-5
	MAE	0,5345	0,499
	MSE	0,6057	0,4732

Tabla 70. Resultados de 302 - Centrales Eléctricas.

303 – Máquinas Eléctricas II		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-2
	MAE	0,8038
	MSE	0,9945
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-5
	MAE	0,9725
	MSE	1,3984

Tabla 71. Resultados de 303 - Máquinas Eléctricas II.

304 – Oficina Técnica		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,5722
	MSE	0,4925
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,7065
	MSE	0,7571

Tabla 72. Resultados de 304 - Oficina Técnica.

305 – Administración de Empresas y Organización Industrial						
Calificación	Número de clusters	1				
	Mejores algoritmos	RNA-7				
	MAE	0,6397				
	MSE	0,583				
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4	5
	Mejores algoritmos	RNA-4	LS-SVR	RNA-4	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,3067	0,3167	0,338	0,3018	0,3265
	MSE	0,333	0,2117	0,2656	0,3145	0,2724

Tabla 73. Resultados de 305 - Administración de Empresas y Org. Industrial.

306 – Aplicación de Máquinas Eléctricas			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	RNA-2	LS-SVR
	MAE	0,6725	0,8291
	MSE	0,7044	0,9987
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,7259	
	MSE	0,8841	

Tabla 74. Resultados de 306 - Aplicación de Máquinas Eléctricas.

307 – Construcción Industrial			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,8792	0,9023
	MSE	1,1928	1,2262
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,3643	
	MSE	0,242	

Tabla 75. Resultados de 307 - Construcción Industrial.

310 – Proyecto Fin de Carrera		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,617
	MSE	0,6483

Tabla 76. Resultados de 310 - Proyecto Fin de Carrera.

2.2 Modelado lateral.

Este tipo de modelado se efectúa con el objetivo de comparar y complementar el modelado hacia delante, y de realizar una aproximación a la situación real de como la mayoría de estudiantes van superando las distintas materias del plan de estudios. En este caso, además de las notas de acceso y de las calificaciones y convocatorias del curso anterior, en cada curso se toman como referencia aquellas materias que presentan un mayor índice de aprobados en primera convocatoria, según se indica en el apartado 5.1, del Capítulo 8 “Resultados del análisis preliminar de la muestra”. En la Ilustración 95 se representa un esquema del tipo de modelado empleado.

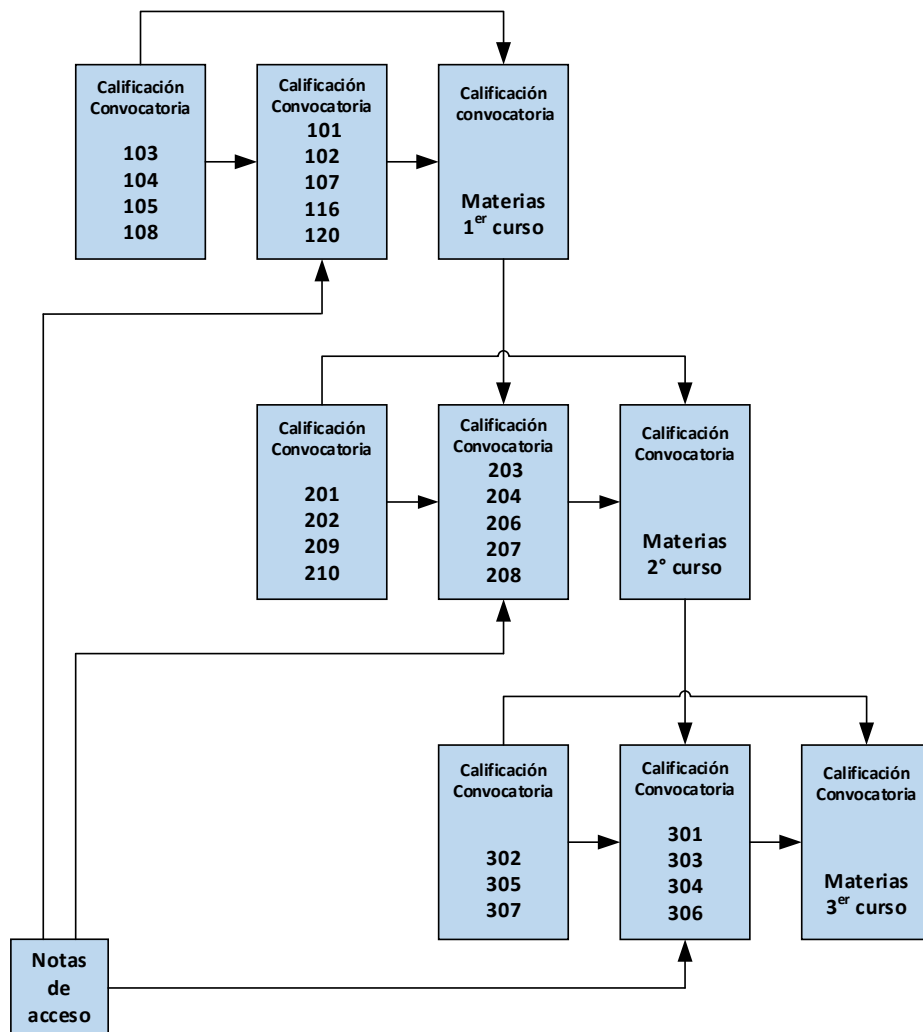


Ilustración 95. Esquema del modelado lateral, I.T.I. Electricidad.

2.2.1 Descripción del proceso

A continuación se indican los pasos seguidos en este tipo de modelado:

- Para modelar las materias del primer curso (101 - Física, 102 - Matemáticas, 107 - Estadística, 116 - Materiales Eléctricos y Magnéticos, y 120 - Teoría de Mecanismos y Estructuras), se parte de las notas de acceso y de las calificaciones y convocatorias de

las siguientes materias: 103 - Teoría de circuitos, 104 - Fundamentos de Informática, 105 - Expresión Gráfica y 108 - Química.

- En el segundo curso, para modelar las calificaciones y convocatorias de las materias (203 - Instalaciones Eléctricas, 204 - Regulación Automática, 206 - Máquinas Eléctricas I, 207 - Circuitos Eléctricos y 208 - Programación Industrial), se parte de las notas de acceso, los datos de todas la materias de primero, y de parte de las de segundo (201 - Electrometría, 202 - Electrónica Industrial, 209 - Matemáticas II, y 210 - Mecánica de Fluidos y Termodinámica).
- Para las materias de tercero (301 - Transporte de Energía Eléctrica, 303 - Máquinas Eléctricas II, 304 - Oficina Técnica y 306 - Aplicaciones de Máquinas Eléctricas), se utilizan las notas de acceso, los datos de todas las materias de primero y de segundo, y de las siguientes materias de tercero: 302 - Centrales Eléctricas, 305 - Administración de Empresas y Organización Industrial y 307 - Construcción Industrial.

2.2.2 Resultados finales del modelado lateral para cada materia

Se relacionan a continuación las diferentes materias de la titulación, junto con las tablas resumen de los resultados para cada caso. De la misma forma que en el modelado hacia delante, para cada materia, la parte superior de la tabla corresponde a los resultados del mejor modelo conseguido para la obtención de las calificaciones, y la parte inferior a los resultados del mejor modelo obtenido para las convocatorias agotadas. La relación es la siguiente:

186

- 101 - Física. Tabla 77.
- 102 - Matemáticas I. Tabla 78.
- 107 - Estadística. Tabla 79.
- 116 - Materiales Eléctricos y Magnéticos. Tabla 80.
- 120 - Teoría de Mecanismos y Estructuras. Tabla 81.
- 203 - Instalaciones Eléctricas. Tabla 82.
- 204 - Regulación Automática. Tabla 83.
- 206 - Máquinas Eléctricas I. Tabla 84.
- 207 - Circuitos Eléctricos. Tabla 85.
- 208 - Programación Industrial. Tabla 86.
- 301 - Transporte de Energía Eléctrica. Tabla 87.
- 303 - Máquinas Eléctricas II. Tabla 88.
- 304 - Oficina Técnica. Tabla 89.
- 306 - Aplicación de Máquinas Eléctricas . Tabla 90.

101 – Física							
Calificación	Número de clusters	1					
	Mejores algoritmos	LS-SVR					
	MAE	0,7932					
	MSE	1,0231					
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4	5	6
	Mejores algoritmos	Poli-2	RNA-4	Poli-1	Poli-1	LS-SVR	Poli-1
	MAE	0,6998	0,6272	0,6724	0,607	0,6963	0,6398
	MSE	0,9791	0,8185	0,7692	0,6823	0,7287	0,7283

Tabla 77. Resultados de 101 - Física.

102 – Matemáticas I		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	Poli-1
	MAE	0,5955
	MSE	0,5756
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,8579
	MSE	1,1256

Tabla 78. Resultados de 102 - Matemáticas.

107 – Estadística		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,7886
	MSE	0,9465
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-5
	MAE	0,9141
	MSE	1,1879

Tabla 79. Resultados de 107 - Estadística.

116 – Materiales Eléctricos y Magnéticos							
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4	5	6
	Mejores algoritmos	Poli-1	Poli-2	LS-SVR	Poli-3	LS-SVR	Poli-4
	MAE	0,7088	0,6655	0,7118	0,7297	0,7515	0,7753
	MSE	0,7697	0,7833	0,8253	0,7911	0,7809	0,8734
Convocatoria	Número de clusters	1					
	Mejores algoritmos	LS-SVR					
	MAE	0,7591					
	MSE	0,8405					

Tabla 80. Resultados de 116 - Materiales Eléctricos y Magnéticos.

120 – Teoría de Mecanismos y Estructuras		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-3
	MAE	0,745
	MSE	0,9389
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	Poli-1
	MAE	0,6797
	MSE	0,7757

Tabla 81. Resultados de 120 - Teoría de Mecanismos y Estructuras.

203 – Instalaciones Eléctricas					
Calificación	Número de clusters	1			
	Mejores algoritmos	LS-SVR			
	MAE	0,9231			
	MSE	1,4231			
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	RNA-8	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,6504	0,5571	0,5798	0,6277
	MSE	0,722	0,5111	0,5739	0,6899

Tabla 82. Resultados de 203 - Instalaciones Eléctricas.

188

204 – Regulación Automática				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	RNA-3	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,886	0,878	0,8501
	MSE	1,2873	1,3133	1,0128
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	LS-SVR		
	MAE	1,0904		
	MSE	1,6744		

Tabla 83. Resultados de 204 - Regulación Automática.

206 – Máquinas Eléctricas I			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	RNA-5	RNA-6
	MAE	0,6195	0,6753
	MSE	0,5558	0,8644
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	RNA-7	
	MAE	0,9486	
	MSE	1,3193	

Tabla 84. Resultados de 206 - Máquinas Eléctricas I.

207 – Circuitos Eléctricos							
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4	5	6
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,0928	1,0746	1,026	1,0356	1,046	1,0489
	MSE	1,6599	1,755	1,6282	1,5342	1,6523	1,523
Convocatoria	Número de clusters	1					
	Mejores algoritmos	LS-SVR					
	MAE	0,6678					
	MSE	0,6765					

Tabla 85. Resultados de 207 - Circuitos Eléctricos.

208 – Programación Industrial			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,8421	0,8368
	MSE	1,0353	1,1282
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	RNA-1	RNA-9
	MAE	0,7147	0,6914
	MSE	0,7581	0,7356

Tabla 86. Resultados de 208 - Programación Industrial.

301 – Transporte de Energía Eléctrica				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	RNA-2	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,9438	1,062	0,9982
	MSE	1,5964	1,754	1,5048
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	LS-SVR		
	MAE	0,7102		
	MSE	0,9213		

Tabla 87. Resultados de 301 - Transporte de Energía Eléctrica.

303 – Máquinas Eléctricas II								
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4			
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR			
	MAE	0,7606	0,7952	0,7466	0,7195			
	MSE	1,0001	0,9355	0,7423	0,7022			
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4	5	6	7
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,8776	0,8536	0,9401	0,8423	0,8163	0,7875	0,9018
	MSE	1,2729	1,161	1,2568	1,0695	1,0611	1,0221	1,2856

Tabla 88. Resultados de 303 - Máquinas Eléctricas II.

304 – Oficina Técnica					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	
	MAE	0,5585	0,5846	0,6103	
	MSE	0,495	0,5427	0,605	
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,7175	0,7113	0,6303	0,7359
	MSE	0,7369	0,7598	0,651	0,7377

Tabla 89. Resultados de 304 - Oficina Técnica.

306 – Aplicación de Máquinas Eléctricas		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-6
	MAE	0,8312
	MSE	1,0723
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,7162
	MSE	0,8237

Tabla 90. Resultados de 306 - Aplicación de Máquinas Eléctricas.

3 INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL, ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

En este apartado se indican los resultados para la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial, obtenidos utilizando el modelado hacia delante y el modelado lateral.

3.1 Modelado hacia delante

Para el modelado hacia delante se utiliza el mismo procedimiento que el detallado en el apartado 2.1 del presente capítulo. En la Ilustración 94 se muestra un esquema del modelado empleado.

3.1.1 Resultados finales del modelado hacia delante para cada materia

Se relacionan a continuación las diferentes materias de la titulación, junto con las tablas resumen de los resultados para cada caso. Para cada materia, la parte superior de la tabla corresponde a los resultados del mejor modelo conseguido para la obtención de las calificaciones, y la parte inferior a los resultados del mejor modelo obtenido para las convocatorias agotadas. La relación es la siguiente:

- 101 - Física. Tabla 91.
- 102 - Matemáticas I. Tabla 92.
- 103 - Teoría de circuitos. Tabla 93.
- 104 - Fundamentos de Informática. Tabla 94.
- 105 - Expresión Gráfica. Tabla 95.
- 106 – Tecnología electrónica. Tabla 96.
- 107 - Estadística. Tabla 97.
- 108 - Química. Tabla 98.
- 120 - Sistemas Mecánicos. Tabla 99.
- 201 - Regulación Automática. Tabla 100.
- 202 - Electrónica Analógica. Tabla 101.
- 203 - Electrónica Digital. Tabla 102.
- 205 - Diseño de Sistemas Electrónicos Digitales. Tabla 103.
- 206 - Sistemas Eléctricos. Tabla 104.
- 207 - Programación Industrial. Tabla 105.
- 208 - Sistemas Oleoneumáticos. Tabla 106.
- 209 - Matemáticas II. Tabla 107.
- 301 - Informática Industrial. Tabla 108.
- 302 - Automatización Industrial. Tabla 109.

- 303 - Instrumentación Electrónica. Tabla 110.
- 304 - Oficina Técnica. Tabla 111.
- 305 - Administración de Empresas y Organización Industrial. Tabla 112.
- 306 - Electrónica de Potencia. Tabla 113.
- 307 - Tecnología Energética. Tabla 114.
- 310 - Proyecto Fin de Carrera. Tabla 115.

101 – Física							
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4	5	6
	Mejores algoritmos	Poli-2	Poli-5	Poli-2	Poli-2	Poli-3	LS-SVR
	MAE	0,9837	0,9152	0,9944	0,9558	0,912	1,0088
	MSE	1,3837	1,1384	1,3586	1,229	1,2356	1,4157
Convocatoria	Número de clusters	1					
	Mejores algoritmos	RNA-1					
	MAE	0,9033					
	MSE	1,492					

Tabla 91. Resultados de 101 - Física.

102 – Matemáticas I			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	Poli-3	Poli-2
	MAE	0,7236	0,7224
	MSE	0,7815	0,7652
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	RNA-1	
	MAE	0,8837	
	MSE	1,1328	

Tabla 92. Resultados de 102 - Matemáticas II.

103 – Teoría de circuitos					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	Poli-5	Poli-2	Poli-1	Poli-7
	MAE	0,7797	0,8589	0,7981	0,7706
	MSE	1,0245	1,1437	1,0107	0,7867
Convocatoria	Número de clusters	1			
	Mejores algoritmos	LS-SVR			
	MAE	0,8993			
	MSE	1,1864			

Tabla 93. Resultados de 103 - Teoría de Circuitos.

104 – Fundamentos de Informática		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	Poli-3
	MAE	0,9955
	MSE	1,4596
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-2
	MAE	0,5706
	MSE	0,5256

Tabla 94. Resultados de 104 - Fundamentos de Informática.

105 – Expresión Gráfica				
Calificación	Número de clusters	1	2	
	Mejores algoritmos	Poli-1	Poli-1	
	MAE	0,8101	0,7822	
	MSE	0,8624	0,8583	
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	Poli-1	RNA-1	Poli-4
	MAE	0,743	0,8104	0,7493
	MSE	0,8189	1,0314	0,9788

Tabla 95. Resultados de 105 - Expresión Gráfica

106 – Tecnología Electrónica					
Calificación	Número de clusters	1			
	Mejores algoritmos	Poli-1			
	MAE	0,9755			
	MSE	1,3328			
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	RNA-1	LS-SVR	Poli-1	LS-SVR
	MAE	0,69	0,8306	0,7626	0,761
	MSE	0,7328	1,0761	1,0142	0,9354

Tabla 96. Resultados de 106 - Tecnología Electrónica.

107 – Estadística				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	Poli-9	Poli-2	Poli-1
	MAE	0,753	0,7556	0,78
	MSE	1,0072	0,9966	1,0261
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	RNA-1		
	MAE	0,9516		
	MSE	1,4197		

Tabla 97. Resultados de 107 - Estadística.

108 – Química			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	Poli-3	Poli-3
	MAE	1,0557	1,0415
	MSE	1,4622	1,5092
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	RNA-5	
	MAE	0,6287	
	MSE	0,6411	

Tabla 98. Resultados de 108 - Química.

120 – Sistemas Mecánicos			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	Poli-1	
	MAE	0,7354	
	MSE	1,0174	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	RNA-1	RNA-2
	MAE	0,8235	0,8976
	MSE	1,2	1,3482

Tabla 99. Resultados de 120 - Sistemas Mecánicos.

194

201 – Regulación Automática			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,8169	
	MSE	1,0403	
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	1,0986	
	MSE	1,612	

Tabla 100. Resultados de 201 - Regulación Automática.

202 – Electrónica Analógica			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,9985	0,951
	MSE	1,442	1,4027
Convocatoria	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,7008	
	MSE	0,8021	

Tabla 101. Resultados de 202 - Electrónica Analógica.

203 – Electrónica Digital			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,8825	
	MSE	1,2195	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,0027	0,9424
	MSE	1,6152	1,4501

Tabla 102. Resultados de 203 - Electrónica Digital.

205 – Diseño de Sistemas Electrónicos Digitales			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,1536	1,2274
	MSE	1,836	2,0001
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,6088	0,5959
	MSE	0,4816	0,4802

Tabla 103. Resultados de 205 - Diseño de Sistemas Electrónicos Digitales.

206 – Sistemas Eléctricos						
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4	5
	Mejores algoritmos	RNA-10	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	RNA-8
	MAE	0,7247	0,7681	0,7555	0,7311	0,7068
	MSE	0,8427	0,895	0,8291	0,8957	0,9355
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3		
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR		
	MAE	0,6393	0,6345	0,6479		
	MSE	0,6322	0,5904	0,6485		

Tabla 104. Resultados de 206 - Sistemas Eléctricos.

207 – Programación Industrial			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,8655	
	MSE	1,0732	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,6074	0,643
	MSE	0,4987	0,5939

Tabla 105. Resultados de 207 - Programación Industrial.

208 – Sistemas Oleoneumáticos					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	RNA-7	LS-SVR	Poli-1	LS-SVR
	MAE	0,9882	0,9904	0,9132	0,9168
	MSE	1,4636	1,3854	1,2456	1,2526
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	Poli-1	LS-SVR	
	MAE	0,6928	0,6068	0,6568	
	MSE	0,7278	0,6387	0,6947	

Tabla 106. Resultados de 208 - Sistemas Oleoneumáticos.

209 – Matemáticas II				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	Poli-1	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,9832	1,0172	1,0799
	MSE	1,5409	1,4793	1,64
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	RNA-1
	MAE	0,4218	0,3861	0,4753
	MSE	0,3365	0,2184	0,4111

Tabla 107. Resultados de 209 - Matemáticas II.

196

301 – Informática Industrial					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,8361	0,8225	0,7721	0,7835
	MSE	1,1488	1,1449	0,9184	0,9713
Convocatoria	Número de clusters	1	2		
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR		
	MAE	0,8657	0,9022		
	MSE	1,1058	1,2698		

Tabla 108. Resultados de 301 - Informática Industrial.

302 – Automatización Industrial		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	RNA-1
	MAE	0,4593
	MSE	0,3815
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	1,0357
	MSE	1,5441

Tabla 109. Resultados de 302 - Automatización Industrial.

303 – Instrumentación Electrónica		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,8771
	MSE	1,2201
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	1,0026
	MSE	1,3898

Tabla 110. Resultados de 303 - Instrumentación Electrónica.

304 – Oficina Técnica			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	RNA-7	
	MAE	0,6491	
	MSE	0,6127	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,6192	0,6181
	MSE	0,6373	0,4575

Tabla 111. Resultados de 304 - Oficina Técnica.

305 – Administración de Empresas y Organización Industrial					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	RNA-1	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,8776	0,9662	0,9079	0,935
	MSE	1,2201	1,3673	1,218	1,3641
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	LS-SVR	RNA-7	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,5649	0,6339	0,6473	0,5874
	MSE	0,4319	0,6988	0,6622	0,5742

Tabla 112. Resultados de 305 - Administración de Empresas y Org. Industrial.

306 – Electrónica de Potencia				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,1155	1,2189	1,2054
	MSE	2,02	1,9857	2,0002
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	LS-SVR		
	MAE	0,8049		
	MSE	1,097		

Tabla 113. Resultados de 306 - Electrónica de Potencia.

307 – Tecnología Energética			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,9672	
	MSE	1,2763	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	RNA-1
	MAE	0,5146	0,5342
	MSE	0,3745	0,4321

Tabla 114. Resultados de 307 - Tecnología Energética.

310 – Proyecto Fin de Carrera			
Calificación	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,9337	0,9101
	MSE	1,2462	1,2304

Tabla 115. Resultados de 310 - Proyecto Fin de Carrera.

3.2.1 Resultados finales del modelado lateral para cada materia

Se relacionan a continuación las diferentes materias de la titulación, junto con las tablas resumen de los resultados para cada caso. De la misma forma que en el modelado hacia delante, para cada materia, la parte superior de la tabla corresponde a los resultados del mejor modelo conseguido para la obtención de las calificaciones, y la parte inferior a los resultados del mejor modelo obtenido para las convocatorias agotadas. La relación es la siguiente:

- 102 - Matemáticas I . Tabla 116.
- 103 - Teoría de circuitos. Tabla 117.
- 106 - Tecnología electrónica. Tabla 118.
- 107 - Estadística. Tabla 119.
- 120 - Sistemas Mecánicos. Tabla 120.
- 201 - Regulación Automática. Tabla 121.
- 202 - Electrónica Analógica. Tabla 122.
- 203 - Electrónica Digital. Tabla 123.
- 206 - Sistemas Eléctricos. Tabla 124.
- 301 - Informática Industrial. Tabla 125.
- 302 - Automatización Industrial. Tabla 126.
- 303 - Instrumentación Electrónica. Tabla 127.
- 306 - Electrónica de Potencia . Tabla 128.

102 – Matemáticas I			
Calificación	Número de clusters	1	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	
	MAE	0,699	
	MSE	0,8103	
Convocatoria	Número de clusters	1	2
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,7294	0,8204
	MSE	0,851	1,0251

Tabla 116. Resultados de 102 - Matemáticas.

103 – Teoría de Circuitos					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	RNA-3	LS-SVR	LS-SVR	RNA-6
	MAE	0,8774	0,8464	0,872	0,7662
	MSE	1,1553	1,1038	1,2292	0,9067
Convocatoria	Número de clusters	1			
	Mejores algoritmos	LS-SVR			
	MAE	0,8926			
	MSE	1,1966			

Tabla 117. Resultados de 103 - Teoría de Circuitos.

106 – Tecnología Electrónica				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,923	0,9105	0,9342
	MSE	1,1627	1,2498	1,1528
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	LS-SVR		
	MAE	0,6262		
	MSE	0,6261		

Tabla 118. Resultados de 106 - Tecnología Electrónica.

107 – Estadística					
Calificación	Número de clusters	1			
	Mejores algoritmos	Poli-2			
	MAE	0,747			
	MSE	0,8042			
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	RNA-1	RNA-1	LS-SVR	Poli-1
	MAE	0,8958	0,8699	0,9717	0,8666
	MSE	1,4014	1,2312	1,4305	1,1593

Tabla 119. Resultados de 107 - Estadística.

120 – Sistemas Mecánicos				
Calificación	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	Poli-1		
	MAE	0,5994		
	MSE	0,5533		
Convocatoria	Número de clusters	1		2
	Mejores algoritmos	LS-SVR		LS-SVR
	MAE	0,8769		0,8588
	MSE	1,2045		1,0742

Tabla 120. Resultados de 120 - Sistemas Mecánicos.

201 – Regulación Automática				
Calificación	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	LS-SVR		
	MAE	0,7822		
	MSE	0,847		
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	1,0704	1,1123	1,1173
	MSE	1,651	1,6521	1,8452

Tabla 121. Resultados de 201 - Regulación Automática.

202 – Electrónica Analógica					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,9319	0,993	0,9268	0,9698
	MSE	1,4286	1,4252	1,2724	1,4131
Convocatoria	Número de clusters	1			
	Mejores algoritmos	LS-SVR			
	MAE	0,7302			
	MSE	0,983			

Tabla 122. Resultados de 202 - Electrónica Analógica.

202

203 – Electrónica Digital				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	RNA-9
	MAE	0,8614	0,9729	0,9832
	MSE	0,9765	1,4734	1,4137
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	LS-SVR		
	MAE	1,0768		
	MSE	1,7263		

Tabla 123. Resultados de 203 - Electrónica Digital.

206 – Sistemas Eléctricos		
Calificación	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,7149
	MSE	0,8962
Convocatoria	Número de clusters	1
	Mejores algoritmos	LS-SVR
	MAE	0,5582
	MSE	0,4841

Tabla 124. Resultados de 206 - Sistemas Eléctricos.

301 – Informática Industrial				
Calificación	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	RNA-4	RNA-8	LS-SVR
	MAE	0,75	0,7479	0,7921
	MSE	0,8944	0,8222	0,8913
Convocatoria	Número de clusters	1		
	Mejores algoritmos	LS-SVR		
	MAE	0,7887		
	MSE	1,1498		

Tabla 125. Resultados de 301 - Informática Industrial.

302 – Automatización Industrial				
Calificación	Número de clusters	1	2	
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	
	MAE	0,4765	0,4012	
	MSE	0,3446	0,3442	
Convocatoria	Número de clusters	1	2	3
	Mejores algoritmos	LS-SVR	RNA-6	LS-SVR
	MAE	1,0275	1,0264	0,9849
	MSE	1,5539	1,5409	1,421

Tabla 126. Resultados de 302 - Automatización Industrial.

303 – Instrumentación Electrónica					
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4
	Mejores algoritmos	LS-SVR	RNA-6	LS-SVR	LS-SVR
	MAE	0,8404	0,7688	0,8213	0,8709
	MSE	1,0028	0,9842	0,9965	1,1076
Convocatoria	Número de clusters	1			
	Mejores algoritmos	LS-SVR			
	MAE	0,9515			
	MSE	1,2856			

Tabla 127. Resultados de 303 - Instrumentación Electrónica.

306 – Electrónica de Potencia							
Calificación	Número de clusters	1	2	3	4	5	6
	Mejores algoritmos	LS-SVR	LS-SVR	LS-SVR	RNA-8	LS-SVR	RNA-7
	MAE	1,1238	1,1811	1,1172	1,0918	1,1459	1,0447
	MSE	1,8539	1,9732	1,7445	1,7784	1,9865	1,5301
Convocatoria	Número de clusters	1					
	Mejores algoritmos	LS-SVR					
	MAE	0,8269					
	MSE	1,0815					

Tabla 128. Resultados de 306 - Electrónica de Potencia.

4 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se incluye un resumen de los resultados del MAE para cada titulación. En la Tabla 129 y en la Tabla 130 se indica el MAE de las calificaciones, y en la Tabla 131 y en la Tabla 132 el de las convocatorias.

En la Ilustración 97 y en la Ilustración 98 se muestra el comportamiento de los modelos en la predicción de las calificaciones, y en la Ilustración 99 y en la Ilustración 100 el de las convocatorias.

MATERIA	MAE Modelado hacia delante	MAE Modelado lateral
101-Física	0,87	0,79
102-Matemáticas	0,63	0,60
103-Teoría de Circuitos	0,93	
104-Fund. de Informática	0,96	
105-Expresión Gráfica	0,82	
107-Estadística	0,70	0,79
108-Química	1,09	
116-Materiales Eléctricos	0,71	0,78
120-Teoría de Mecanismos	0,76	0,75
201-Electrometría	0,84	
202-Electrónica Industrial	0,60	
203-Instalaciones Eléctricas	1,02	0,92
204-Regulación Automática	0,80	0,89
206-Máquinas Eléctricas I	0,70	0,68
207-Circuitos Eléctricos	1,00	1,09
208-Programación Industrial	0,79	0,84
209-Matemáticas II	1,12	
210-Mecánica de Fluidos	0,93	
301-Transporte E. Eléctrica	0,94	1,06
302-Centrales Eléctricas	0,72	
303-Máquinas Eléctricas II	0,80	0,80
304-Oficina Técnica	0,57	0,61
305-Administración de Empr.	0,64	
306-Aplicación de Máquinas	0,83	0,83
307-Contrucción Industrial	0,90	
310-Proyecto Fin de Carrera	0,62	

Tabla 129. Resumen de los resultados del MAE, calificaciones. ITI, Electricidad.

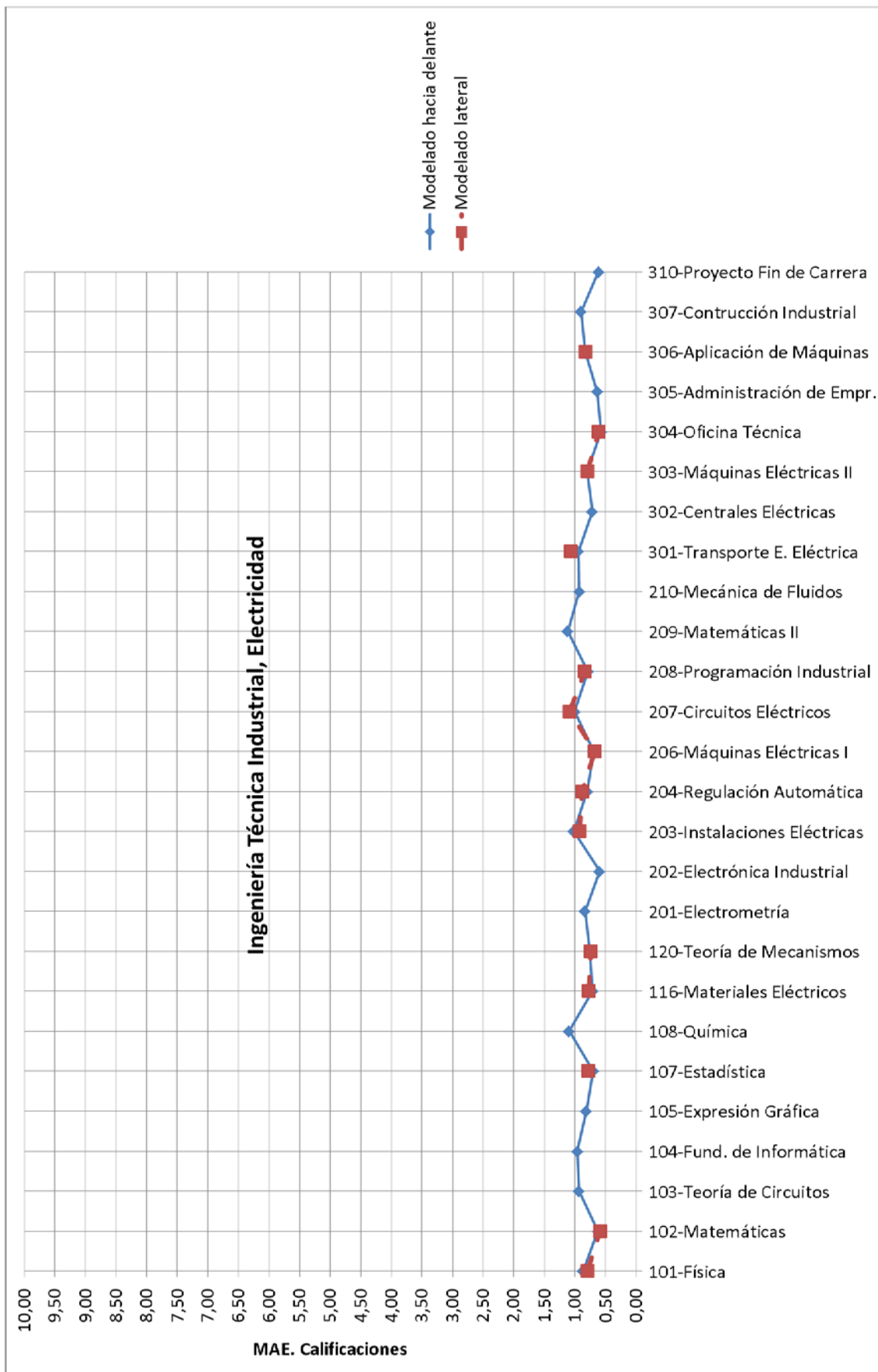


Ilustración 97. Comportamiento de los modelos. ITI, Electricidad. Calificaciones.

MATERIA	MAE Modelado hacia delante	MAE Modelado lateral
101-Física	1,01	
102-Matemáticas I	0,72	0,70
103-Teoría de circuitos	0,86	0,88
104-Fundamentos de Informática	1,00	
105-Expresión Gráfica	0,81	
106-Tecnología electrónica	0,98	0,93
107-Estadística	0,78	0,75
108-Química	1,04	
120-Sistemas Mecánicos	0,74	0,60
201-Regulación Automática	0,82	0,78
202-Electrónica Analógica	1,00	0,99
203-Electrónica Digital	0,88	0,98
205-Diseño de S. Electrónicos	1,23	
206-Sistemas Eléctricos	0,77	0,71
207-Programación Industrial	0,87	
208-Sistemas Oleoneumáticos	0,99	
209-Matemáticas II	1,08	
301-Informática Industrial	0,94	0,79
302-Automatización Industrial	0,46	0,48
303-Instrumentación Electrónica	0,88	0,87
304-Oficina Técnica	0,65	
305-Administración de Empr.	0,97	
306-Electrónica de Potencia	1,22	1,18
307-Tecnología Energética	0,83	
310-Proyecto Fin de Carrera	0,93	

Tabla 130. Resumen de los resultados del MAE, calificaciones. ITI, Electrónica.

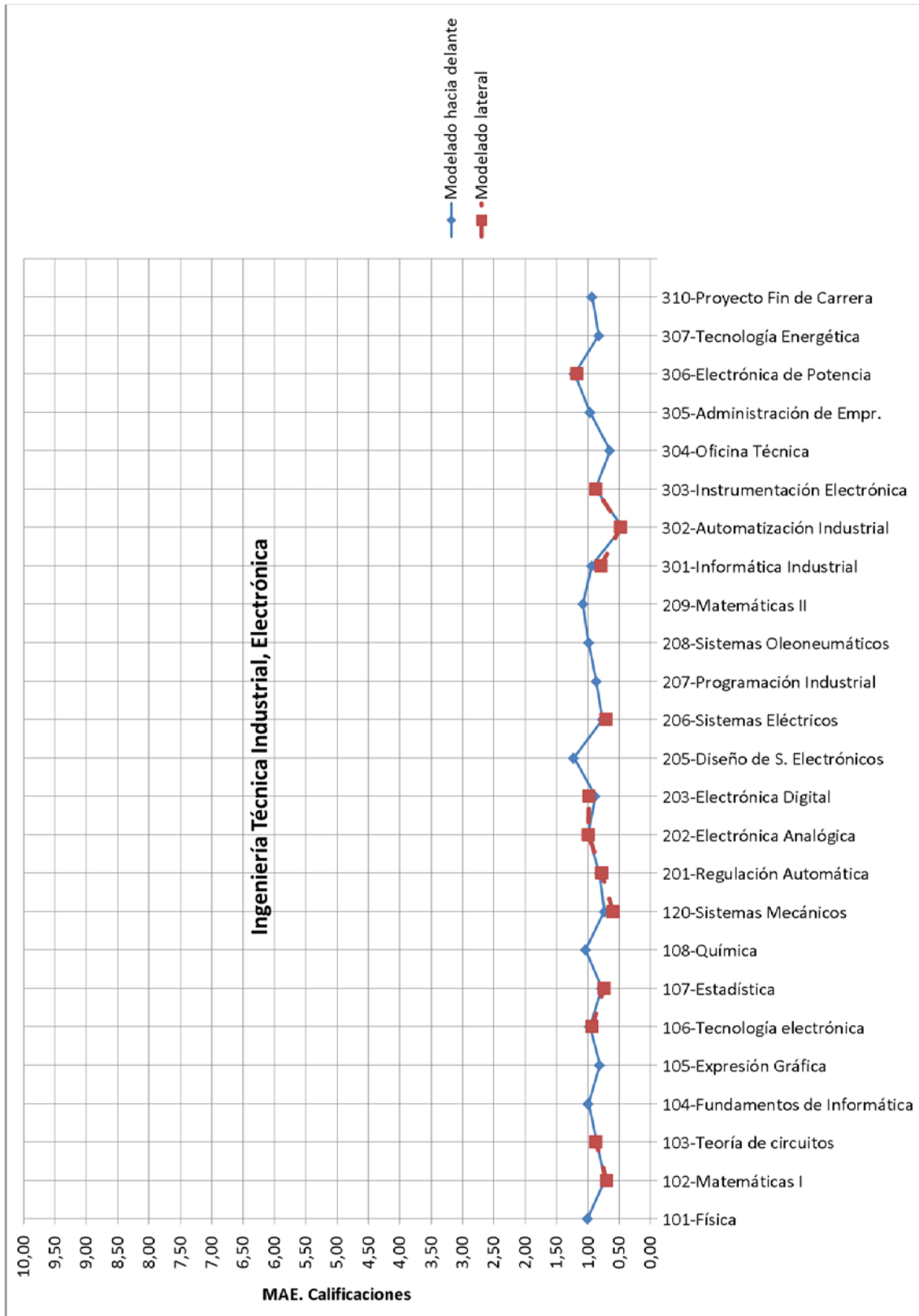


Ilustración 98. Comportamiento de los modelos. ITI, Electrónica. Calificaciones.

MATERIA	MAE Modelado hacia delante	MAE Modelado lateral
101-Física	0,68	0,70
102-Matemáticas	0,83	0,86
103-Teoría de Circuitos	0,81	
104-Fund. de Informática	0,63	
105-Expresión Gráfica	0,78	
107-Estadística	0,86	0,91
108-Química	0,31	
116-Materiales Eléctricos	0,73	0,76
120-Teoría de Mecanismos	0,82	0,68
201-Electrometría	0,64	
202-Electrónica Industrial	0,31	
203-Instalaciones Eléctricas	0,59	0,65
204-Regulación Automática	1,25	1,09
206-Máquinas Eléctricas I	1,06	0,95
207-Circuitos Eléctricos	0,66	0,67
208-Programación Industrial	0,63	0,72
209-Matemáticas II	0,47	
210-Mecánica de Fluidos	0,69	
301-Transporte E. Eléctrica	0,80	0,71
302-Centrales Eléctricas	0,53	
303-Máquinas Eléctricas II	0,97	0,90
304-Oficina Técnica	0,71	0,71
305-Administración de Empr.	0,31	
306-Aplicación de Máquinas	0,73	0,72
307-Contrucción Industrial	0,36	
310-Proyecto Fin de Carrera	0,65	

Tabla 131. Resumen de los resultados del MAE, convocatorias. ITI, Electricidad.

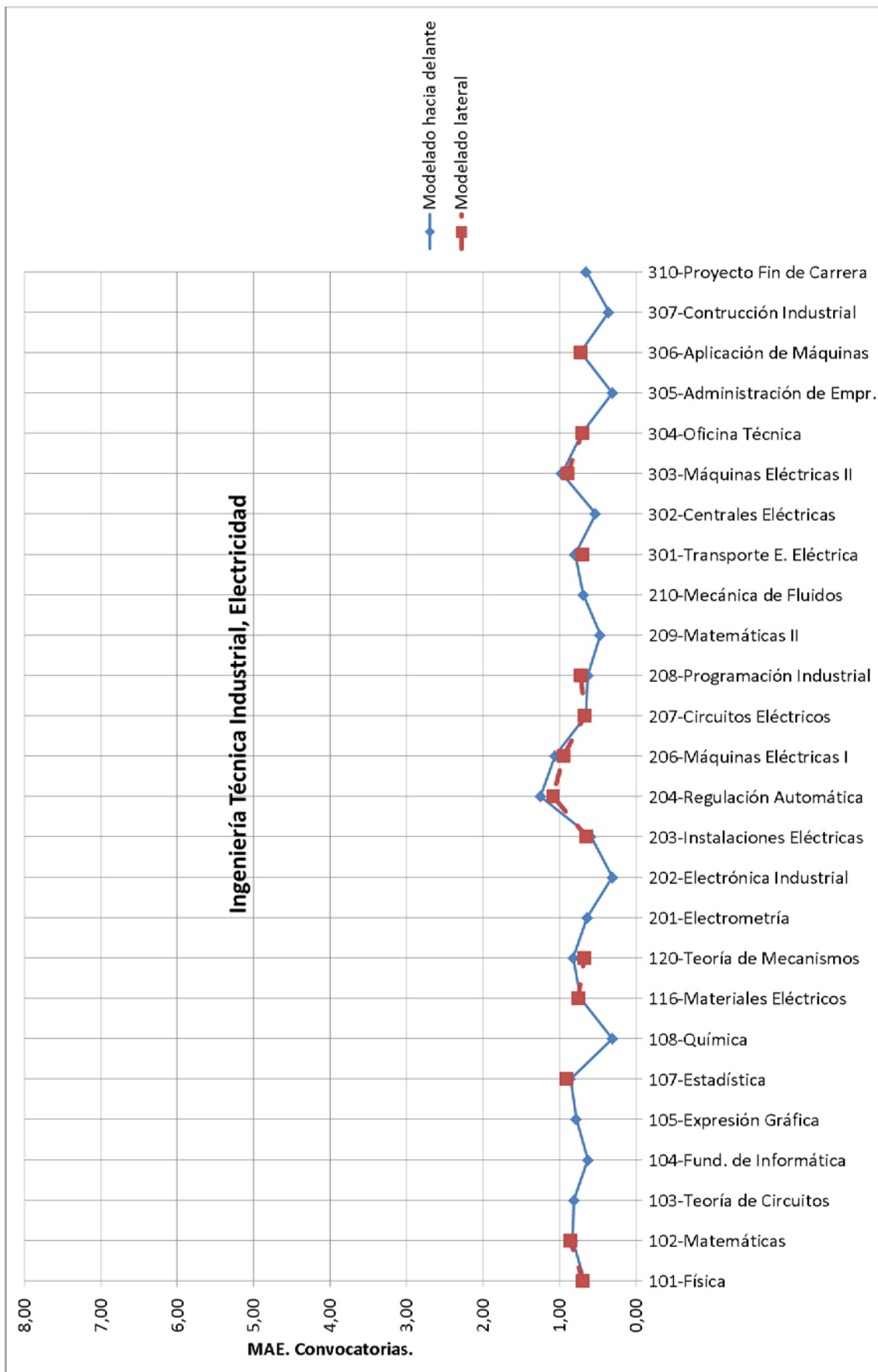


Ilustración 99. Comportamiento de los modelos. ITI, Electricidad. Convocatorias.

MATERIA	MAE Modelado hacia delante	MAE Modelado lateral
101-Física	0,90	
102-Matemáticas I	0,88	0,82
103-Teoría de circuitos	0,90	0,89
104-Fundamentos de Informática	0,57	
105-Expresión Gráfica	0,81	
106-Tecnología electrónica	0,83	0,63
107-Estadística	0,95	0,97
108-Química	0,63	
120-Sistemas Mecánicos	0,90	0,88
201-Regulación Automática	1,10	1,12
202-Electrónica Analógica	0,70	0,73
203-Electrónica Digital	1,00	1,08
205-Diseño de S. Electrónicos	0,61	
206-Sistemas Eléctricos	0,65	0,56
207-Programación Industrial	0,64	
208-Sistemas Oleoneumáticos	0,69	
209-Matemáticas II	0,48	
301-Informática Industrial	0,90	0,79
302-Automatización Industrial	1,04	1,03
303-Instrumentación Electrónica	1,00	0,95
304-Oficina Técnica	0,62	
305-Administración de Empr.	0,63	
306-Electrónica de Potencia	0,80	0,83
307-Tecnología Energética	0,53	
310-Proyecto Fin de Carrera	0,93	

Tabla 132. Resumen de los resultados del MAE, convocatorias. ITI, Electrónica

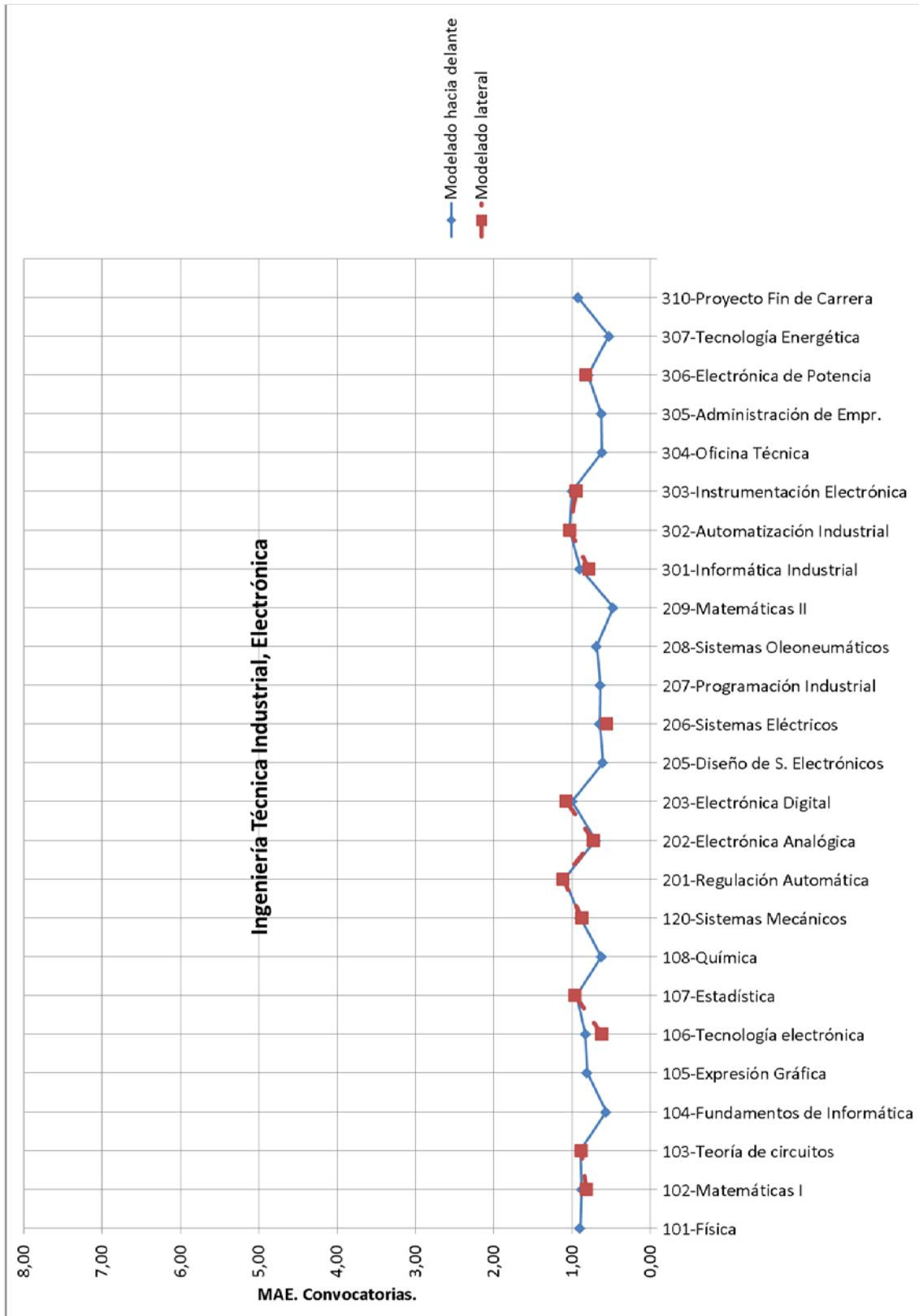


Ilustración 100. Comportamiento de los modelos. ITI, Electrónica. Convocatorias.

5 RENDIMIENTO DE LAS TÉCNICAS DE REGRESIÓN UTILIZADAS

En este apartado se muestra el rendimiento de las técnicas de regresión utilizadas en este trabajo. En la Ilustración 101 se representan los mejores resultados obtenidos en los modelos globales y en la Ilustración 102 los alcanzados en los modelos locales.

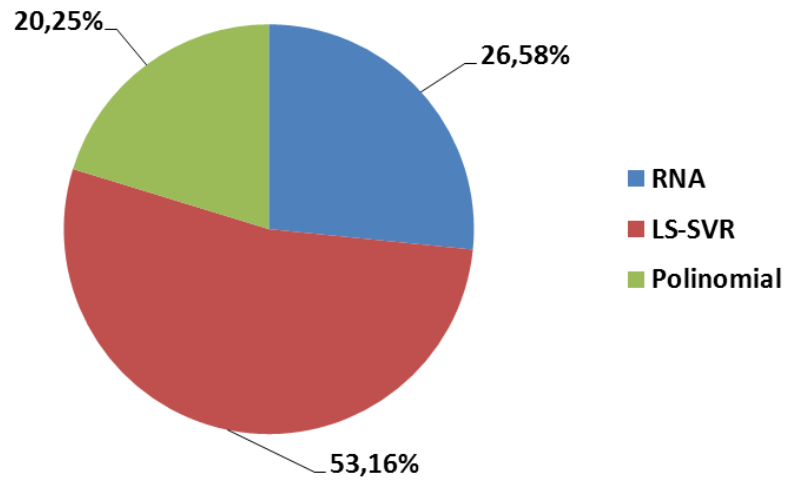


Ilustración 101. Rendimiento de las técnicas utilizadas en los modelos globales.

212

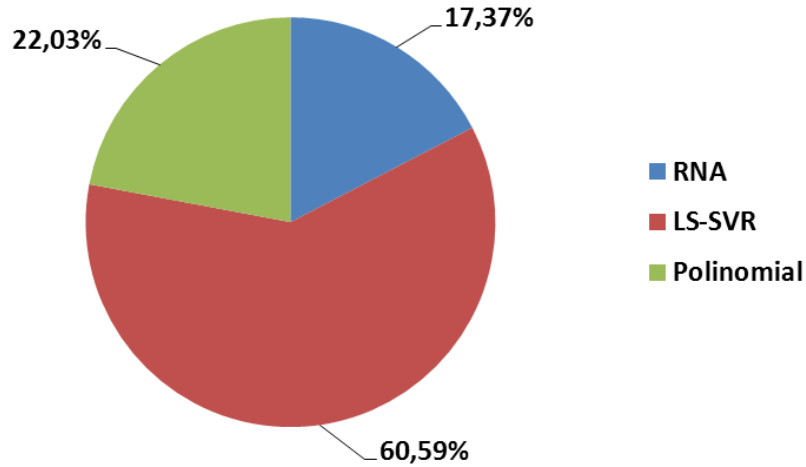


Ilustración 102. Rendimiento de las técnicas utilizadas en los modelos locales.

*Capítulo 11. Validación y
comprobación del comportamiento
del modelo ante casos concretos*

1 INTRODUCCIÓN

Aunque el modelo ya está validado, tal como se indica en capítulo 6 “Métodos avanzados de regresión para el desarrollo de modelos”, apartado 5 “Técnicas de validación”, se realiza una comprobación de su comportamiento mediante la simulación del expediente académico de varios estudiantes, seleccionados de forma aleatoria. Además, con el objetivo comprobar la respuesta del modelo ante casos atípicos, se realiza la simulación del expediente académico de un estudiantes, elegido expresamente porque sus resultados académicos se alejan de la media de la mayoría del alumnado. Se indican a continuación, por separado, los resultados obtenidos en cada caso y un apartado de valoración de los mismos.

2 SIMULACIÓN DEL EXPEDIENTE ACADÉMICO. CASOS ALEATORIOS

La simulación de las calificaciones y convocatorias del expediente académico se realiza según los tipos de modelado utilizados en el capítulo 10 “Resultados del modelado del rendimiento académico basado en técnicas avanzadas”. Seguidamente se especifican los resultados de uno de los casos elegidos de forma aleatoria, organizados según el tipo de modelado: modelado hacia delante y modelado lateral.

2.1 Resultados del modelado hacia delante

Teniendo en cuenta lo especificado en el apartado 2.1 “Modelado hacia delante” del capítulo 10 “Resultados del modelado del rendimiento académico basado en técnicas avanzadas”, en este tipo de modelado se parte del supuesto de que el estudiante va superando todas las materias de cada curso antes de afrontar el siguiente.

215

Los resultados se muestran organizados por apartados, según los cursos en los que se realice la simulación.

2.1.1 Simulación del expediente completo

A partir de la nota de acceso a la universidad, se simula el expediente completo del estudiante obteniendo las calificaciones, Tabla 133 y las convocatorias agotadas, Tabla 134. En dichas tablas se muestran las calificaciones y las convocatorias, tanto las calculadas por el modelo como las reales conseguidas por el estudiante, así como el error de predicción cometido en cada materia.

El modelado de cada curso se realiza con las notas de acceso y las calificaciones obtenidas por el modelo para cada curso inferior al que se simula. Resaltar que las calificaciones y las convocatorias reales se incluyen en las tablas solamente para poder calcular el error de predicción.

CALIFICACIONES				
PRIMER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
101-Física	6,02	5,50	-0,52	5,20%
102-Matemáticas	5,78	5,50	-0,28	2,80%
103-Teoría de Circuitos	6,15	5,50	-0,65	6,50%
104-Fund. de Informática	7,45	7,50	0,05	0,50%
105-Expresión Gráfica	6,35	7,50	1,15	11,50%
107-Estadística	6,90	7,50	0,6	6,00%
108-Química	7,04	9,00	1,96	19,60%
116-Materiales Eléctricos	6,57	7,50	0,93	9,30%
120-Teoría de Mecanismos	5,82	5,50	-0,32	3,20%
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
201-Electrometría	5,79	6,00	0,21	2,10%
202-Electrónica Industrial	6,38	7,50	1,12	11,20%
203-Instalaciones Eléctricas	6,36	6,00	-0,36	3,60%
204-Regulación Automática	5,44	5,80	0,36	3,60%
206-Máquinas Eléctricas I	6,70	5,10	-1,6	16,00%
207-Circuitos Eléctricos	6,52	5,00	-1,52	15,20%
208-Programación Industrial	6,63	6,00	-0,63	6,30%
209-Matemáticas II	6,69	7,50	0,81	8,10%
210-Mecánica de Fluidos	6,79	6,50	-0,29	2,90%
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	6,46	5,00	-1,46	14,60%
302-Centrales Eléctricas	6,13	6,50	0,37	3,70%
303-Máquinas Eléctricas II	5,62	5,80	0,18	1,80%
304-Oficina Técnica	6,37	7,00	0,63	6,30%
305-Administración de Empr.	5,80	7,00	1,2	12,00%
306-Aplicación de Máquinas	5,98	5,00	-0,98	9,80%
307-Contrucción Industrial	6,94	7,00	0,06	0,60%
310-Proyecto Fin de Carrera	7,35	6,50	-0,85	8,50%

Tabla 133. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
PRIMER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
101-Física	1	1	0
102-Matemáticas	2	1	-1
103-Teoría de Circuitos	2	1	-1
104-Fund. de Informática	1	1	0
105-Expresión Gráfica	2	1	-1
107-Estadística	2	1	-1

108-Química	1	1	0
116-Materiales Eléctricos	2	1	-1
120-Teoría de Mecanismos	2	1	-1
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría	2	2	0
202-Electrónica Industrial	1	1	0
203-Instalaciones Eléctricas	1	2	1
204-Regulación Automática	3	1	-2
206-Máquinas Eléctricas I	3	1	-2
207-Circuitos Eléctricos	2	1	-1
208-Programación Industrial	2	2	0
209-Matemáticas II	1	1	0
210-Mecánica de Fluidos	2	2	0
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	2	2	0
302-Centrales Eléctricas	1	2	1
303-Máquinas Eléctricas II	3	2	-1
304-Oficina Técnica	2	1	-1
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	2	1	-1
307-Contrucción Industrial	1	1	0

Tabla 134. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.

2.1.2 Simulación del segundo y tercer curso

Partiendo de la nota de acceso a la universidad y de las calificaciones logradas por el estudiante en las materias del primer curso, se simula el expediente del segundo y tercer curso obteniendo las calificaciones, Tabla 135 y las convocatorias agotadas, Tabla 136.

Para calcular las calificaciones de tercero, además de la nota de acceso y las calificaciones del primer curso, se incorporan las calificaciones de 2º obtenidas por el modelo. Las calificaciones y las convocatorias reales conseguidas por el estudiante se incluyen en las tablas solamente para poder calcular el error de predicción.

CALIFICACIONES				
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
201-Electrometría	6,06	6,00	-0,06	0,60%
202-Electrónica Industrial	6,79	7,50	0,71	7,10%
203-Instalaciones Eléctricas	6,98	6,00	-0,98	9,80%
204-Regulación Automática	5,70	5,80	0,1	1,00%
206-Máquinas Eléctricas I	5,75	5,10	-0,65	6,50%

207-Circuitos Eléctricos	6,91	5,00	-1,91	19,10%
208-Programación Industrial	7,17	6,00	-1,17	11,70%
209-Matemáticas II	6,93	7,50	0,57	5,70%
210-Mecánica de Fluidos	7,04	6,50	-0,54	5,40%
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	5,98	5,00	-0,98	9,80%
302-Centrales Eléctricas	6,40	6,50	0,1	1,00%
303-Máquinas Eléctricas II	6,51	5,80	-0,71	7,10%
304-Oficina Técnica	6,62	7,00	0,38	3,80%
305-Administración de Empr.	5,80	7,00	1,2	12,00%
306-Aplicación de Máquinas	5,98	5,00	-0,98	9,80%
307-Contrucción Industrial	7,33	7,00	-0,33	3,30%
310-Proyecto Fin de Carrera	7,63	6,50	-1,13	11,30%

Tabla 135. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría	1	2	1
202-Electrónica Industrial	1	1	0
203-Instalaciones Eléctricas	1	2	1
204-Regulación Automática	2	1	-1
206-Máquinas Eléctricas I	2	1	-1
207-Circuitos Eléctricos	1	1	0
208-Programación Industrial	1	2	1
209-Matemáticas II	1	1	0
210-Mecánica de Fluidos	2	2	0
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	1	2	1
302-Centrales Eléctricas	1	2	1
303-Máquinas Eléctricas II	3	2	-1
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	2	1	-1
307-Contrucción Industrial	1	1	0

Tabla 136. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.

2.1.3 Simulación del tercer curso

Teniendo en cuenta la nota de acceso y las calificaciones obtenidas por el estudiante en las materias del primer y segundo curso, se predicen las calificaciones, Tabla 137 y las convocatorias agotadas, Tabla 138, para las materias de tercero.

CALIFICACIONES				
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	5,98	5,00	-0,98	9,80%
302-Centrales Eléctricas	6,34	6,50	0,16	1,60%
303-Máquinas Eléctricas II	5,80	5,80	0	0,00%
304-Oficina Técnica	6,66	7,00	0,34	3,40%
305-Administración de Empr.	6,40	7,00	0,6	6,00%
306-Aplicación de Máquinas	5,98	5,00	-0,98	9,80%
307-Contrucción Industrial	7,18	7,00	-0,18	1,80%
310-Proyecto Fin de Carrera	7,58	6,50	-1,08	10,80%

Tabla 137. Simulación del expediente académico del tercer curso, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	2	2	0
302-Centrales Eléctricas	1	2	1
303-Máquinas Eléctricas II	3	2	-1
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	2	1	-1
307-Contrucción Industrial	1	1	0

Tabla 138. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.

2.1.4 Simulación de la calificación del Proyecto Fin de Carrera

Finalmente, se calcula la calificación del Proyecto Fin de Carrera, Tabla 139, a partir de la nota de acceso y de las calificaciones de las materias de 1º, 2º y 3º. En este caso, únicamente se predice la calificación porque la práctica totalidad del alumnado supera la materia en la primera convocatoria a la que se presenta.

CALIFICACIONES				
PROYECTO FINAL DE CARRERA				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
310-Proyecto Fin de Carrera	7,47	6,50	-0,97	9,70%

Tabla 139. Simulación de la calificación del Proyecto Fin de Carrera.

2.2 Resultados del modelado lateral

Según se indica el apartado 2.2 “Modelado lateral” del capítulo 10 “Resultados del modelado del rendimiento académico basado en técnicas avanzadas”, en este tipo de modelado, además de las notas de acceso y de las calificaciones y convocatorias del curso anterior, en cada curso se incluyen en el modelo aquellas materias que presentan un mayor índice de aprobados en primera convocatoria. A continuación se muestran los resultados obtenidos, organizados según los cursos en los que se realiza la simulación.

2.2.1 Simulación del expediente completo

A partir de la nota de acceso a la universidad y las calificaciones de las materias de: 103-Teoría de circuitos, 104-Fundamentos de Informática, 105-Expresión Gráfica y 108-Química, se simula el expediente completo del estudiante con la predicción de las calificaciones, Tabla 140 y las convocatorias agotadas, Tabla 141. En dichas tablas se muestran las calificaciones y convocatorias, obtenidas por el modelo y reales, así como el error de predicción cometido en cada materia.

El modelado de cada curso se realiza con las notas de acceso, las calificaciones de las materias indicadas anteriormente y las calificaciones obtenidas por el modelo para cada curso inferior al que se simula. Indicar que las calificaciones y las convocatorias reales se incluyen en las tablas solamente para poder calcular el error de predicción.

CALIFICACIONES				
PRIMER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
101-Física	6,47	5,50	-0,97	9,70%
102-Matemáticas	5,96	5,50	-0,46	4,60%
103-Teoría de Circuitos		5,50		
104-Fund. de Informática		7,50		
105-Expresión Gráfica		7,50		
107-Estadística	5,76	7,50	1,74	17,40%
108-Química		9,00		
116-Materiales Eléctricos	6,83	7,50	0,67	6,70%
120-Teoría de Mecanismos	5,68	5,50	-0,18	1,80%
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %

201-Electrometría	6,06	6,00	-0,06	0,60%
202-Electrónica Industrial	6,28	7,50	1,22	12,20%
203-Instalaciones Eléctricas	6,75	6,00	-0,75	7,50%
204-Regulación Automática	6,12	5,80	-0,32	3,20%
206-Máquinas Eléctricas I	5,73	5,10	-0,63	6,30%
207-Circuitos Eléctricos	6,59	5,00	-1,59	15,90%
208-Programación Industrial	6,78	6,00	-0,78	7,80%
209-Matemáticas II	6,98	7,50	0,52	5,20%
210-Mecánica de Fluidos	7,07	6,50	-0,57	5,70%
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	6,46	5,00	-1,46	14,60%
302-Centrales Eléctricas	6,25	6,50	0,25	2,50%
303-Máquinas Eléctricas II	5,62	5,80	0,18	1,80%
304-Oficina Técnica	6,54	7,00	0,46	4,60%
305-Administración de Empr.	5,54	7,00	1,46	14,60%
306-Aplicación de Máquinas	5,98	5,00	-0,98	9,80%
307-Contrucción Industrial	7,30	7,00	-0,3	3,00%
310-Proyecto Fin de Carrera	7,51	6,50	-1,01	10,10%

Tabla 140. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
PRIMER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
101-Física	1	1	0
102-Matemáticas	2	1	-1
103-Teoría de Circuitos		1	
104-Fund. de Informática		1	
105-Expresión Gráfica		1	
107-Estadística	2	1	-1
108-Química		1	
116-Materiales Eléctricos	2	1	-1
120-Teoría de Mecanismos	1	1	0
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría	1	2	1
202-Electrónica Industrial	1	1	0
203-Instalaciones Eléctricas	1	2	1
204-Regulación Automática	2	1	-1
206-Máquinas Eléctricas I	2	1	-1
207-Circuitos Eléctricos	1	1	0
208-Programación Industrial	2	2	0
209-Matemáticas II	1	1	0

210-Mecánica de Fluidos	2	2	0
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	2	2	0
302-Centrales Eléctricas	1	2	1
303-Máquinas Eléctricas II	2	2	0
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	2	1	-1
307-Contrucción Industrial	1	1	0

Tabla 141. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.

2.2.2 Simulación del segundo y tercer curso

Partiendo de la nota de acceso, las calificaciones obtenidas por el estudiante en las materias del primer curso y las calificaciones de las materias del segundo curso: 201-Electrometría, 202-Electrónica Industrial, 209-Matemáticas II y 210-Mecánica de Fluidos y Termodinámica, se calculan las calificaciones, Tabla 142 y las convocatorias, Tabla 143, del resto de materias del expediente académico.

Para calcular las calificaciones de tercero, además de la nota de acceso, las calificaciones del primer curso y las calificaciones de las materias de segundo que se indicaron anteriormente, se incorporan el resto de las calificaciones de 2º obtenidas por el modelo. Las calificaciones y las convocatorias reales logradas por el estudiante se incluyen en las tablas solamente para poder calcular el error de predicción.

CALIFICACIONES				
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
201-Electrometría		6,00		
202-Electrónica Industrial		7,50		
203-Instalaciones Eléctricas	6,63	6,00	-0,63	6,30%
204-Regulación Automática	5,90	5,80	-0,1	1,00%
206-Máquinas Eléctricas I	5,91	5,10	-0,81	8,10%
207-Circuitos Eléctricos	6,72	5,00	-1,72	17,20%
208-Programación Industrial	6,64	6,00	-0,64	6,40%
209-Matemáticas II		7,50		
210-Mecánica de Fluidos		6,50		
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Mod.)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	5,98	5,00	1,22	12,20%
302-Centrales Eléctricas	6,39	6,50	0,11	1,10%
303-Máquinas Eléctricas II	6,51	5,80	-0,71	7,10%
304-Oficina Técnica	6,63	7,00	0,37	3,70%

305-Administración de Empr.	6,40	7,00	0,6	6,00%
306-Aplicación de Máquinas	5,98	5,00	-0,98	9,80%
307-Construcción Industrial	7,30	7,00	-0,3	3,00%
310-Proyecto Fin de Carrera	7,63	6,50	-1,13	11,30%

Tabla 142. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.

CONVOCATORIA			
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría		2	
202-Electrónica Industrial		1	
203-Instalaciones Eléctricas	1	2	1
204-Regulación Automática	2	1	-1
206-Máquinas Eléctricas I	2	1	-1
207-Circuitos Eléctricos	1	1	0
208-Programación Industrial	1	2	1
209-Matemáticas II		1	
210-Mecánica de Fluidos		2	
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	1	2	1
302-Centrales Eléctricas	1	2	1
303-Máquinas Eléctricas II	3	2	-1
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	2	1	-1
307-Construcción Industrial	1	1	0

Tabla 143. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.

2.2.3 Simulación del tercer curso

Finalmente, se calculan las calificaciones, Tabla 144 y convocatorias agotadas, Tabla 145, del tercer curso y del Proyecto Fin de carrera, a partir de las notas de acceso, las calificaciones de las materias de primero y segundo, y de las siguientes calificaciones de tercero: 302-Centrales Eléctricas, 305-Administración de Empresas y 307-Construcción Industrial.

CALIFICACIONES				
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	6,41	5,00	-1,41	14,10%
302-Centrales Eléctricas		6,50		
303-Máquinas Eléctricas II	6,16	5,80	-0,36	3,60%

304-Oficina Técnica	6,60	7,00	0,4	4,00%
305-Administración de Empr.		7,00		
306-Aplicación de Máquinas	6,09	5,00	-1,09	10,90%
307-Construcción Industrial		7,00		
310-Proyecto Fin de Carrera	7,52	6,50	-1,02	10,20%

Tabla 144. Simulación del expediente académico del tercer curso y del PFC, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	2	2	0
302-Centrales Eléctricas		2	
303-Máquinas Eléctricas II	2	2	0
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.		1	
306-Aplicación de Máquinas	2	1	-1
307-Construcción Industrial		1	

Tabla 145. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.

3 SIMULACIÓN DEL EXPEDIENTE ACADÉMICO. CASOS ATÍPICOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el caso de un estudiante, considerado atípico, porque sus logros académicos están muy alejados de la media de la mayoría del alumnado. Dichos resultados se presentan por separado para cada tipo de modelado: modelado hacia delante y modelado lateral.

3.1 Resultados del modelado hacia delante

Se presentan los resultados organizados según los cursos en los que se realiza cada simulación, y se sigue el mismo procedimiento que el descrito en el apartado 2 del presente capítulo.

3.1.1 Simulación del expediente completo

A partir de la nota de acceso a la universidad, se simula el expediente completo del estudiante obteniendo las calificaciones, Tabla 146 y las convocatorias agotadas, Tabla 147. En dichas tablas se muestran las calificaciones y las convocatorias, tanto las obtenidas por el modelo como las reales logradas por el estudiante, así como el error de predicción cometido en cada materia.

CALIFICACIONES				
PRIMER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
101-Física	9,50	8,80	-0,7	8,90%
102-Matemáticas	8,83	9,00	0,17	1,70%
103-Teoría de Circuitos	9,00	8,00	-1	10,00%
104-Fund. de Informática	9,00	9,90	0,9	9,00%
105-Expresión Gráfica	8,52	9,30	0,78	7,80%
107-Estadística	7,44	7,00	-0,44	4,40%
108-Química	9,22	9,60	0,38	3,80%
116-Materiales Eléctricos	10,0	7,80	-2,2	22,00%
120-Teoría de Mecanismos	7,42	9,00	1,58	15,80%
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
201-Electrometría	8,79	10,0	1,21	7,90%
202-Electrónica Industrial	8,24	9,90	1,66	16,60%
203-Instalaciones Eléctricas	7,37	10,0	2,63	26,30%
204-Regulación Automática	5,74	5,30	-0,44	4,40%
206-Máquinas Eléctricas I	5,81	6,00	0,19	1,90%
207-Circuitos Eléctricos	7,44	10,0	2,56	25,60%
208-Programación Industrial	10,0	10,0	0	0,00%
209-Matemáticas II	8,19	10,0	1,81	18,10%
210-Mecánica de Fluidos	8,90	10,0	1,1	11,00%
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	7,26	8,70	2,02	20,20%
302-Centrales Eléctricas	7,36	9,00	0	0,00%
303-Máquinas Eléctricas II	6,65	8,70	0,28	2,80%
304-Oficina Técnica	7,55	7,00	-0,28	2,80%
305-Administración de Empr.	7,56	7,40	-0,2	2,00%
306-Aplicación de Máquinas	7,25	10,0	-0,92	9,20%
307-Contrucción Industrial	8,28	10,0	-0,62	6,20%
310-Proyecto Fin de Carrera	8,07	8,60	-0,43	4,30%

Tabla 146. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
PRIMER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
101-Física	1	1	0
102-Matemáticas	1	1	0
103-Teoría de Circuitos	1	1	0

104-Fund. de Informática	1	1	0
105-Expresión Gráfica	1	1	0
107-Estadística	1	1	0
108-Química	1	1	0
116-Materiales Eléctricos	2	1	-1
120-Teoría de Mecanismos	1	1	0
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría	1	1	0
202-Electrónica Industrial	1	1	0
203-Instalaciones Eléctricas	1	1	0
204-Regulación Automática	1	1	0
206-Máquinas Eléctricas I	2	1	-1
207-Circuitos Eléctricos	1	1	0
208-Programación Industrial	1	1	0
209-Matemáticas II	1	1	0
210-Mecánica de Fluidos	1	1	0
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	1	1	0
302-Centrales Eléctricas	1	1	0
303-Máquinas Eléctricas II	2	1	-1
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	1	1	0
307-Contrucción Industrial	1	1	0

Tabla 147. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.

3.1.2 Simulación del segundo y tercer curso

Partiendo de la nota de acceso a la universidad y las calificaciones obtenidas por el estudiante en las materias del primer curso, se simula el expediente del segundo y tercer curso calculando las calificaciones, Tabla 148 y las convocatorias agotadas, Tabla 149.

CALIFICACIONES				
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
201-Electrometría	8,79	10,0	1,21	12,10%
202-Electrónica Industrial	8,08	9,90	1,82	18,20%
203-Instalaciones Eléctricas	9,38	10,0	0,62	6,20%
204-Regulación Automática	6,40	5,30	-1,1	11,00%
206-Máquinas Eléctricas I	5,76	6,00	0,24	2,40%

207-Circuitos Eléctricos	7,43	10,0	2,57	25,70%
208-Programación Industrial	10,0	10,0	0	0,00%
209-Matemáticas II	8,20	10,0	1,8	18,00%
210-Mecánica de Fluidos	8,91	10,0	1,09	10,90%
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	7,26	8,70	1,44	14,40%
302-Centrales Eléctricas	7,33	9,00	1,67	16,70%
303-Máquinas Eléctricas II	6,51	8,70	2,19	21,90%
304-Oficina Técnica	7,43	7,00	-0,43	4,30%
305-Administración de Empr.	7,57	7,40	-0,17	1,70%
306-Aplicación de Máquinas	7,25	10,0	2,75	27,50%
307-Contrucción Industrial	8,41	10,0	1,59	15,90%
310-Proyecto Fin de Carrera	8,04	8,60	0,56	5,60%

Tabla 148. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría	1	1	0
202-Electrónica Industrial	1	1	0
203-Instalaciones Eléctricas	1	1	0
204-Regulación Automática	1	1	0
206-Máquinas Eléctricas I	2	1	-1
207-Circuitos Eléctricos	1	1	0
208-Programación Industrial	1	1	0
209-Matemáticas II	1	1	0
210-Mecánica de Fluidos	2	1	-1
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	1	1	0
302-Centrales Eléctricas	1	1	0
303-Máquinas Eléctricas II	1	1	0
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	1	1	0
307-Contrucción Industrial	1	1	0

Tabla 149. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.

3.1.3 Simulación del tercer curso

Teniendo en cuenta la nota de acceso y las calificaciones obtenidas por el estudiante en las materias del primer y segundo curso, se predicen las calificaciones, Tabla 150 y las convocatorias agotadas, Tabla 151, para las materias de tercero.

CALIFICACIONES				
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	7,26	8,70	1,44	14,40%
302-Centrales Eléctricas	7,59	9,00	1,41	14,10%
303-Máquinas Eléctricas II	6,65	8,70	2,05	20,50%
304-Oficina Técnica	7,51	7,00	-0,51	5,10%
305-Administración de Empr.	7,54	7,40	-0,14	1,40%
306-Aplicación de Máquinas	7,25	10,0	2,75	27,50%
307-Contrucción Industrial	8,56	10,0	1,44	14,40%
310-Proyecto Fin de Carrera	8,19	8,60	0,41	4,10%

Tabla 150. Simulación del expediente académico del tercer curso, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	2	1	-1
302-Centrales Eléctricas	1	1	0
303-Máquinas Eléctricas II	2	1	-1
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	1	1	0
307-Contrucción Industrial	1	1	0

Tabla 151. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.

3.1.4 Simulación de la calificación del Proyecto Fin de Carrera

Finalmente, se calcula la calificación del Proyecto Fin de Carrera, Tabla 152, a partir de la nota de acceso y de las calificaciones de las materias de 1º, 2º y 3º. En este caso, únicamente se predice la calificación porque la práctica totalidad del alumnado supera la materia en la primera convocatoria a la que se presenta.

CALIFICACIONES				
PROYECTO FINAL DE CARRERA				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
310-Proyecto Fin de Carrera	8,34	8,60	0,26	2,60%

Tabla 152. Simulación de la calificación del Proyecto Fin de Carrera.

3.2 Resultados del modelado lateral

Se presentan los resultados organizados según los cursos en los cuales se realiza la simulación y se sigue el mismo procedimiento que el descrito en el apartado 2 del presente capítulo.

3.2.1 Simulación del expediente completo

A partir de la nota de acceso a la universidad y las calificaciones de las materias de: 103-Teoría de circuitos, 104-Fundamentos de Informática, 105-Expresión Gráfica y 108-Química, se simula el expediente completo del estudiante con las calificaciones, Tabla 153 y las convocatorias agotadas, Tabla 154. En dichas tablas se muestran las calificaciones y las convocatorias, obtenidas por el modelo y las reales logradas por el alumno, así como el error de predicción cometido en cada materia.

CALIFICACIONES				
PRIMER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
101-Física	8,34	8,80	0,46	4,60%
102-Matemáticas	7,49	9,00	1,51	15,10%
103-Teoría de Circuitos		8,00		
104-Fund. de Informática		9,90		
105-Expresión Gráfica		9,30		
107-Estadística	5,82	7,00	1,18	11,80%
108-Química		9,60		
116-Materiales Eléctricos	7,08	7,80	0,72	7,20%
120-Teoría de Mecanismos	8,50	9,00	0,5	5,00%
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
201-Electrometría	7,73	10,0	2,27	22,70%
202-Electrónica Industrial	7,51	9,90	2,39	23,90%
203-Instalaciones Eléctricas	7,49	10,0	2,51	25,10%
204-Regulación Automática	6,23	5,30	-0,93	9,30%
206-Máquinas Eléctricas I	5,78	6,00	0,22	2,20%
207-Circuitos Eléctricos	7,06	10,0	2,94	29,40%
208-Programación Industrial	10,0	10,0	0	0,00%
209-Matemáticas II	7,90	10,0	2,1	21,00%
210-Mecánica de Fluidos	8,54	10,0	1,46	14,60%
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	7,26	8,70	1,44	14,40%
302-Centrales Eléctricas	7,15	9,00	1,85	18,50%
303-Máquinas Eléctricas II	6,51	8,70	2,19	21,90%
304-Oficina Técnica	7,19	7,00	-0,19	1,90%

305-Administración de Empr.	7,22	7,40	0,18	1,80%
306-Aplicación de Máquinas	7,25	10,0	2,75	27,50%
307-Construcción Industrial	8,26	10,0	1,74	17,40%
310-Proyecto Fin de Carrera	7,88	8,60	0,72	7,20%

Tabla 153. Simulación del expediente académico completo, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
PRIMER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
101-Física	1	1	0
102-Matemáticas	1	1	0
103-Teoría de Circuitos		1	
104-Fund. de Informática		1	
105-Expresión Gráfica		1	
107-Estadística	3	1	-2
108-Química		1	
116-Materiales Eléctricos	2	1	-1
120-Teoría de Mecanismos	1	1	0
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría	1	1	0
202-Electrónica Industrial	1	1	0
203-Instalaciones Eléctricas	1	1	0
204-Regulación Automática	2	1	-1
206-Máquinas Eléctricas I	2	1	-1
207-Circuitos Eléctricos	1	1	0
208-Programación Industrial	1	1	0
209-Matemáticas II	1	1	0
210-Mecánica de Fluidos	1	1	0
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	1	1	0
302-Centrales Eléctricas	1	1	0
303-Máquinas Eléctricas II	1	1	0
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	1	1	0
307-Construcción Industrial	1	1	0

Tabla 154. Simulación del expediente académico completo, convocatorias.

3.2.2 Simulación del segundo y tercer curso

Partiendo de la nota de acceso, las calificaciones logradas por el estudiante en las materias del primer curso y las calificaciones de las materias del segundo curso: 201-Electrometría, 202-Electrónica Industrial, 209-Matemáticas II y 210-Mecánica de Fluidos y Termodinámica, se obtienen las calificaciones, Tabla 155 y las convocatorias, Tabla 156, del resto de materias del expediente académico.

CALIFICACIONES				
SEGUNDO CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
201-Electrometría		10,0		
202-Electrónica Industrial		9,90		
203-Instalaciones Eléctricas	8,33	10,0	1,67	16,70%
204-Regulación Automática	6,01	5,30	-0,71	7,10%
206-Máquinas Eléctricas I	5,78	6,00	0,22	2,20%
207-Circuitos Eléctricos	7,50	10,0	2,5	25,00%
208-Programación Industrial	9,26	10,0	0,74	7,40%
209-Matemáticas II		10,0		
210-Mecánica de Fluidos		10,0		
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	6,78	8,70	1,22	12,20%
302-Centrales Eléctricas	7,42	9,00	1,58	15,80%
303-Máquinas Eléctricas II	6,65	8,70	2,05	20,50%
304-Oficina Técnica	7,47	7,00	-0,47	4,70%
305-Administración de Empr.	7,33	7,40	0,07	0,70%
306-Aplicación de Máquinas	7,25	10,0	2,75	27,50%
307-Contrucción Industrial	8,39	10,0	1,61	16,10%
310-Proyecto Fin de Carrera	8,13	8,60	0,47	4,70%

Tabla 155. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, calificaciones.

CONVOCATORIA			
SEGUNDO CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
201-Electrometría		1	
202-Electrónica Industrial		1	
203-Instalaciones Eléctricas	1	1	0
204-Regulación Automática	1	1	0
206-Máquinas Eléctricas I	2	1	-1
207-Circuitos Eléctricos	1	1	0
208-Programación Industrial	1	1	0
209-Matemáticas II		1	
210-Mecánica de Fluidos		1	

TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	1	1	0
302-Centrales Eléctricas	1	1	0
303-Máquinas Eléctricas II	1	1	0
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.	1	1	0
306-Aplicación de Máquinas	1	1	0
307-Construcción Industrial	1	1	0

Tabla 156. Simulación del expediente académico de los cursos 2º y 3º, convocatorias.

3.2.3 Simulación del tercer curso

Finalmente, se calculan las calificaciones, Tabla 157 y las convocatorias agotadas, Tabla 158, del tercer curso y del Proyecto Fin de carrera, a partir de las notas de acceso, las calificaciones de las materias de primero y segundo, y de las siguientes calificaciones de tercero: 302-Centrales Eléctricas, 305-Administración de Empresas y 307-Construcción Industrial.

232

CALIFICACIONES				
TERCER CURSO				
Materia	Calificación Modelo	Calificación Real	Error (Real - Modelo)	Error %
301-Transporte E. Eléctrica	8,47	8,70	0,23	2,30%
302-Centrales Eléctricas		9,00		
303-Máquinas Eléctricas II	6,92	8,70	1,78	17,80%
304-Oficina Técnica	7,72	7,00	-0,72	7,20%
305-Administración de Empr.		7,40		
306-Aplicación de Máquinas	6,60	10,0	3,4	34,00%
307-Construcción Industrial		10,0		
310-Proyecto Fin de Carrera	8,28	8,60	0,32	3,20%

Tabla 157. Simulación del expediente del tercer curso y del PFC, calificaciones.

CONVOCATORIAS			
TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria Modelo	Convocatoria Real	Error convocatoria (Real - Modelo)
301-Transporte E. Eléctrica	1	1	0
302-Centrales Eléctricas		1	
303-Máquinas Eléctricas II	1	1	0
304-Oficina Técnica	1	1	0
305-Administración de Empr.		1	
306-Aplicación de Máquinas	1	1	0
307-Construcción Industrial		1	

Tabla 158. Simulación del expediente académico del tercer curso, convocatorias.

4 VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS DE VALIDACIÓN Y DEL COMPORTAMIENTO DEL MODELO

En este apartado se realiza la valoración de los resultados de validación y del comportamiento del modelo. Se presenta por separado según se trate de casos aleatorios o de casos atípicos.

4.1 Valoración de los casos aleatorios

En general, se consigue una alta precisión en la predicción de los resultados del expediente académico del estudiante. Se detalla a continuación la valoración de los resultados de modelado de las calificaciones y de las convocatorias.

4.1.1 Simulaciones de las calificaciones

En la Tabla 159 se muestra el resumen de los resultados del modelado hacia delante y en la Tabla 160 los del modelado lateral. Seguidamente se resalta lo más significativo de cada tipo de predicción según el curso donde se realiza.

4.1.1.1 Expediente completo

En el modelado hacia delante hay 7 materias en las cuales se alcanza un error que oscila entre el 11,20% y el 19,60%, en las 19 restantes que componen el plan de estudios el error cometido es menor del 10 %.

En el caso del modelado lateral, en 6 asignaturas se comete un error de predicción que varía entre el 10,10% y el 17,40%, y en las otras 16 el error alcanzado es menor del 10%.

Se comprueba que el comportamiento de ambos modelos para la simulación del expediente académico completo es similar, Ilustración 103.

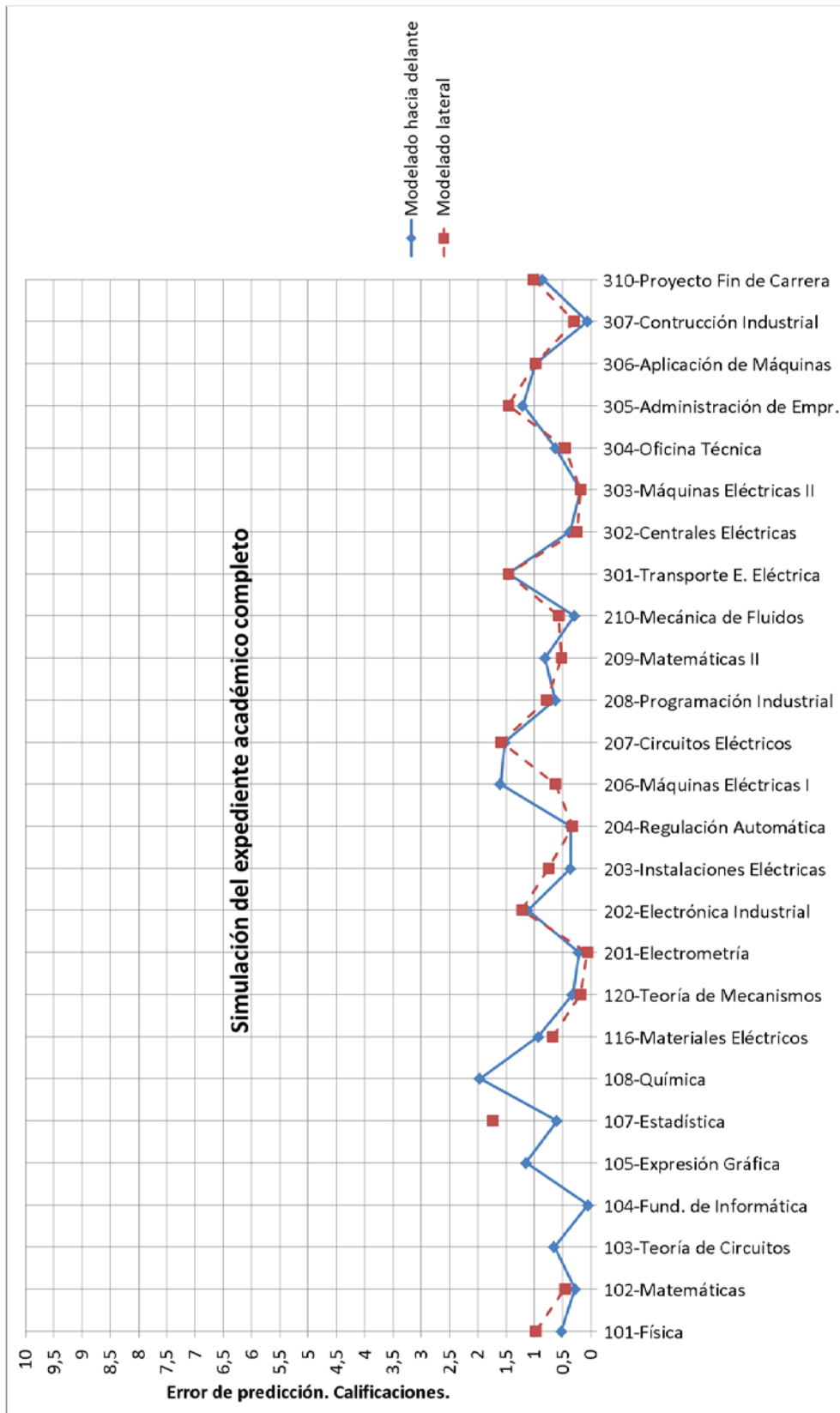


Ilustración 103. Modelado calificaciones. Expediente académico completo.

4.1.1.2 Segundo y tercer curso

Hay 4 materias que se predicen en el modelado hacia delante con un error comprendido entre 11,30% y 19,10%, en las 13 restantes el error de predicción es menor del 10%.

En el modelado lateral, 3 materias presentan un error que varía desde el 11,30% al 17,20% y en las otras 10 materias el error alcanzado es menor del 10%.

El comportamiento de ambos modelos se muestra en la Ilustración 104.

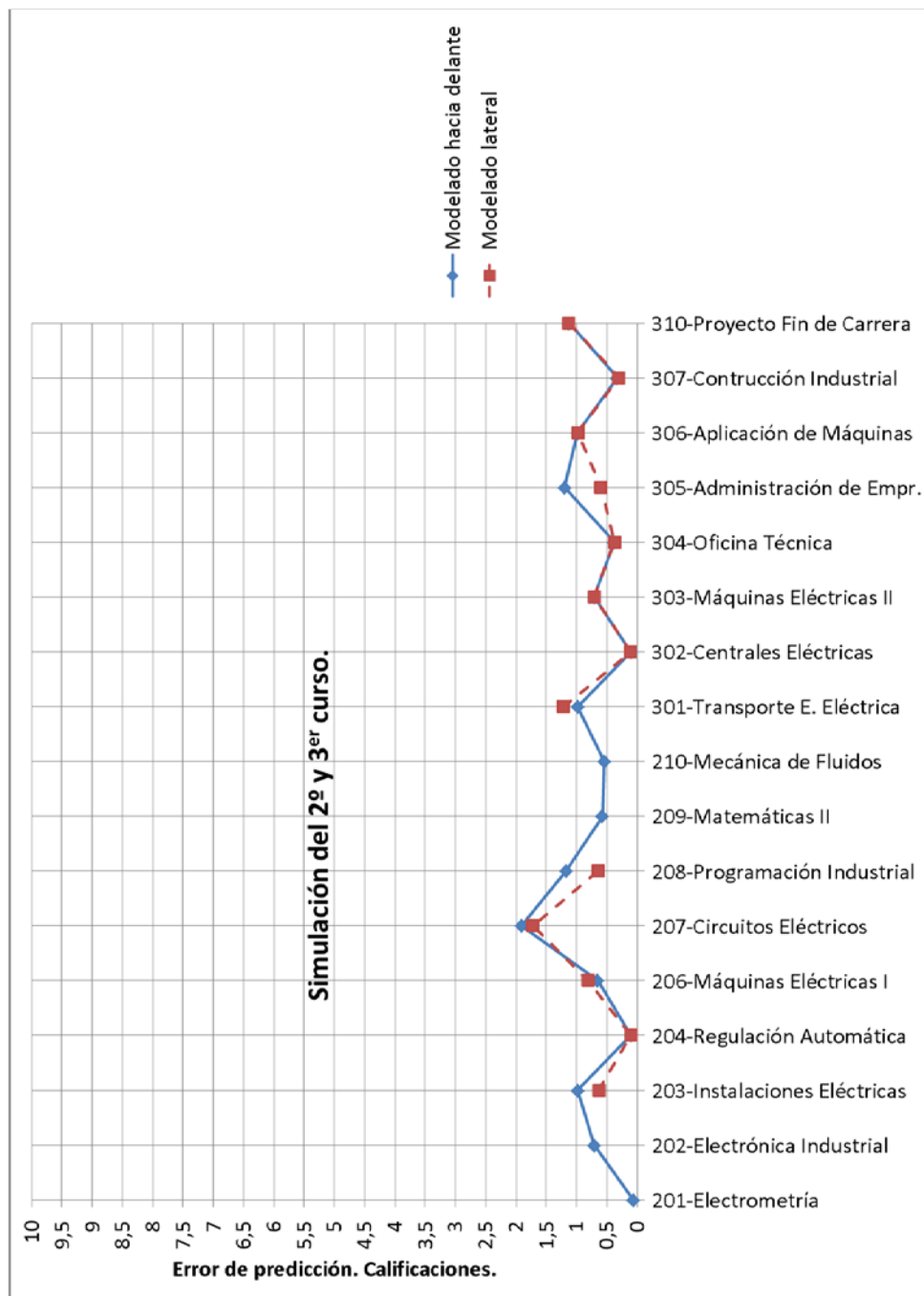


Ilustración 104. Modelado calificaciones. Segundo y tercer curso.

4.1.1.3 Tercer curso

En el modelado hacia delante, 9 materias se predicen con un error menor del 10% y solamente una presenta un error del 10,8%.

En el modelado lateral, 3 materias muestran un error que oscila entre el 10,2% y el 14,10% y las 2 restantes ofrecen un error menor del 10%.

En la Ilustración 105 se muestra el comportamiento de los modelos.

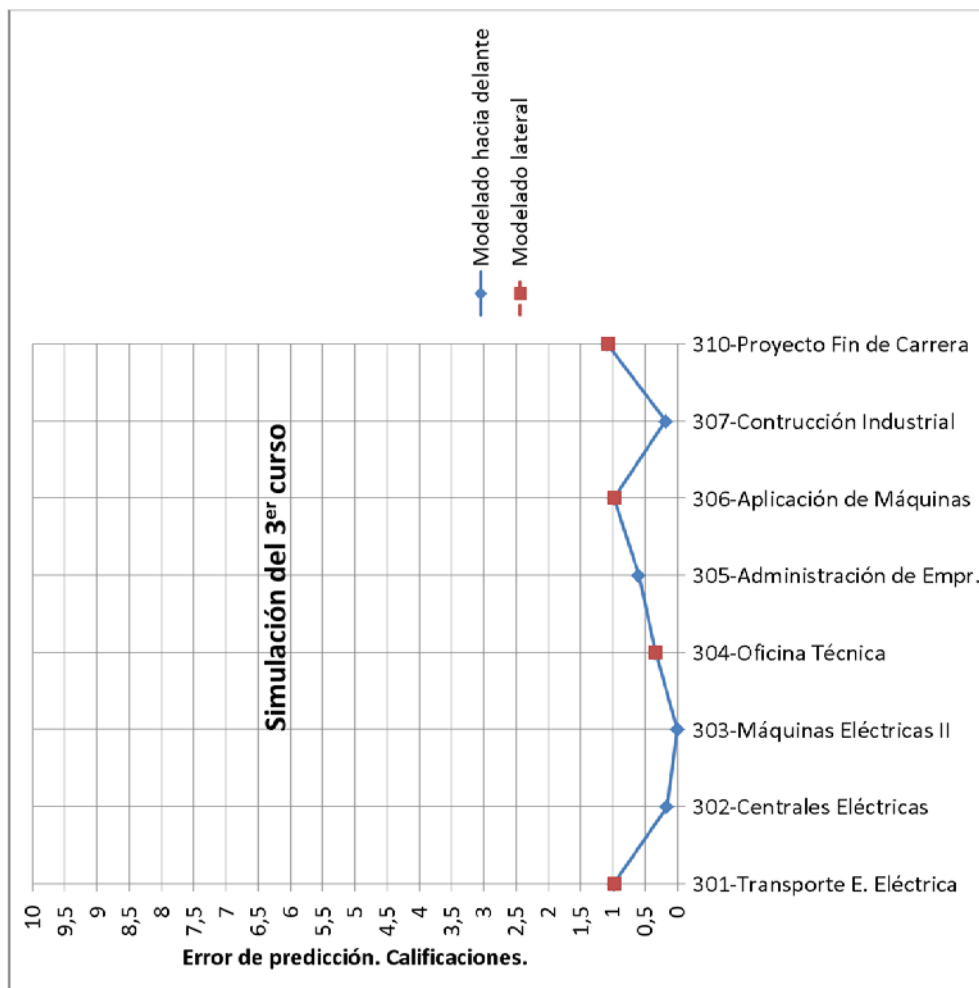


Ilustración 105. Modelado calificaciones. Tercer curso.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error								
101	6,02	5,5	5,20%								
102	5,78	5,5	2,80%								
103	6,15	5,5	6,50%								
104	7,45	7,5	0,50%								
105	6,35	7,5	11,50%								
107	6,9	7,5	6,00%								
108	7,04	9	19,60%								
116	6,57	7,5	9,30%								
120	5,82	5,5	3,20%								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º CURSO							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error				
201	5,79	6	2,10%	201	6,06	6	0,60%				
202	6,38	7,5	11,20%	202	6,79	7,5	7,10%				
203	6,36	6	3,60%	203	6,98	6	9,80%				
204	5,44	5,8	3,60%	204	5,7	5,8	1,00%				
206	6,7	5,1	16,00%	206	5,75	5,1	6,50%				
207	6,52	5	15,20%	207	6,91	5	19,10%				
208	6,63	6	6,30%	208	7,17	6	11,70%				
209	6,69	7,5	8,10%	209	6,93	7,5	5,70%				
210	6,79	6,5	2,90%	210	7,04	6,5	5,40%				
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error
301	6,46	5	14,60%	301	5,98	5	9,80%	301	5,98	5	9,80%
302	6,13	6,5	3,70%	302	6,4	6,5	1,00%	302	6,34	6,5	1,60%
303	5,62	5,8	1,80%	303	6,51	5,8	7,10%	303	5,8	5,8	0,00%
304	6,37	7	6,30%	304	6,62	7	3,80%	304	6,66	7	3,40%
305	5,8	7	12,00%	305	5,8	7	12,00%	305	6,4	7	6,00%
306	5,98	5	9,80%	306	5,98	5	9,80%	306	5,98	5	9,80%
307	6,94	7	0,60%	307	7,33	7	3,30%	307	7,18	7	1,80%
310	7,35	6,5	8,50%	310	7,63	6,5	11,30%	310	7,58	6,5	10,80%

Tabla 159. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, calificaciones.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error								
101	6,47	5,5	9,70%								
102	5,96	5,5	4,60%								
103		5,5									
104		7,5									
105		7,5									
107	5,76	7,5	17,40%								
108		9									
116	6,83	7,5	6,70%								
120	5,68	5,5	1,80%								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º CURSO							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error				
201	6,06	6	0,60%	201		6					
202	6,28	7,5	12,20%	202		7,5					
203	6,75	6	7,50%	203	6,63	6	6,30%				
204	6,12	5,8	3,20%	204	5,9	5,8	1,00%				
206	5,73	5,1	6,30%	206	5,91	5,1	8,10%				
207	6,59	5	15,90%	207	6,72	5	17,20%				
208	6,78	6	7,80%	208	6,64	6	6,40%				
209	6,98	7,5	5,20%	209		7,5					
210	7,07	6,5	5,70%	210		6,5					
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error
301	6,46	5	14,60%	301	5,98	5	12,20%	301	6,41	5	14,10%
302	6,25	6,5	2,50%	302	6,39	6,5	1,10%	302		6,5	
303	5,62	5,8	1,80%	303	6,51	5,8	7,10%	303	6,16	5,8	3,60%
304	6,54	7	4,60%	304	6,63	7	3,70%	304	6,6	7	4,00%
305	5,54	7	14,60%	305	6,4	7	6,00%	305		7	
306	5,98	5	9,80%	306	5,98	5	9,80%	306	6,09	5	10,90%
307	7,3	7	3,00%	307	7,3	7	3,00%	307		7	
310	7,51	6,5	10,10%	310	7,63	6,5	11,30%	310	7,52	6,5	10,20%

Tabla 160. Resumen de los resultados del modelado lateral, calificaciones.

4.1.2 Simulaciones de las convocatorias

En la Tabla 161 se muestra el resumen de los resultados del modelado hacia delante y en la Tabla 162 los del modelado lateral, con el objetivo de realizar la cotejar ambos. Seguidamente se resalta lo más destacado de cada simulación.

4.1.2.1 Expediente completo

En el modelado hacia delante hay 2 materias en las que se produce un error de predicción de 2 convocatorias. En las restantes 23 materias el error es igual o inferior a 1 convocatoria.

En el modelado lateral, todas las convocatorias se predicen con un error igual o inferior a 1.

En la Ilustración 106 se muestra el comportamiento de los modelos.

4.1.2.2 Segundo y tercer curso

El error de predicción es igual o menor a 1 convocatoria en las 16 materias que se realiza la simulación con el tipo de modelado hacia delante.

En el modelado lateral, igualmente el error es igual o menor a 1 convocatoria para las 12 materias analizadas.

El comportamiento de ambos modelos se representa en la Ilustración 107.

4.1.2.3 Tercer curso

En los dos tipos de modelado, el error de predicción es igual o menor a 1 convocatoria para todas las asignaturas, tal como se muestra en la Ilustración 108.

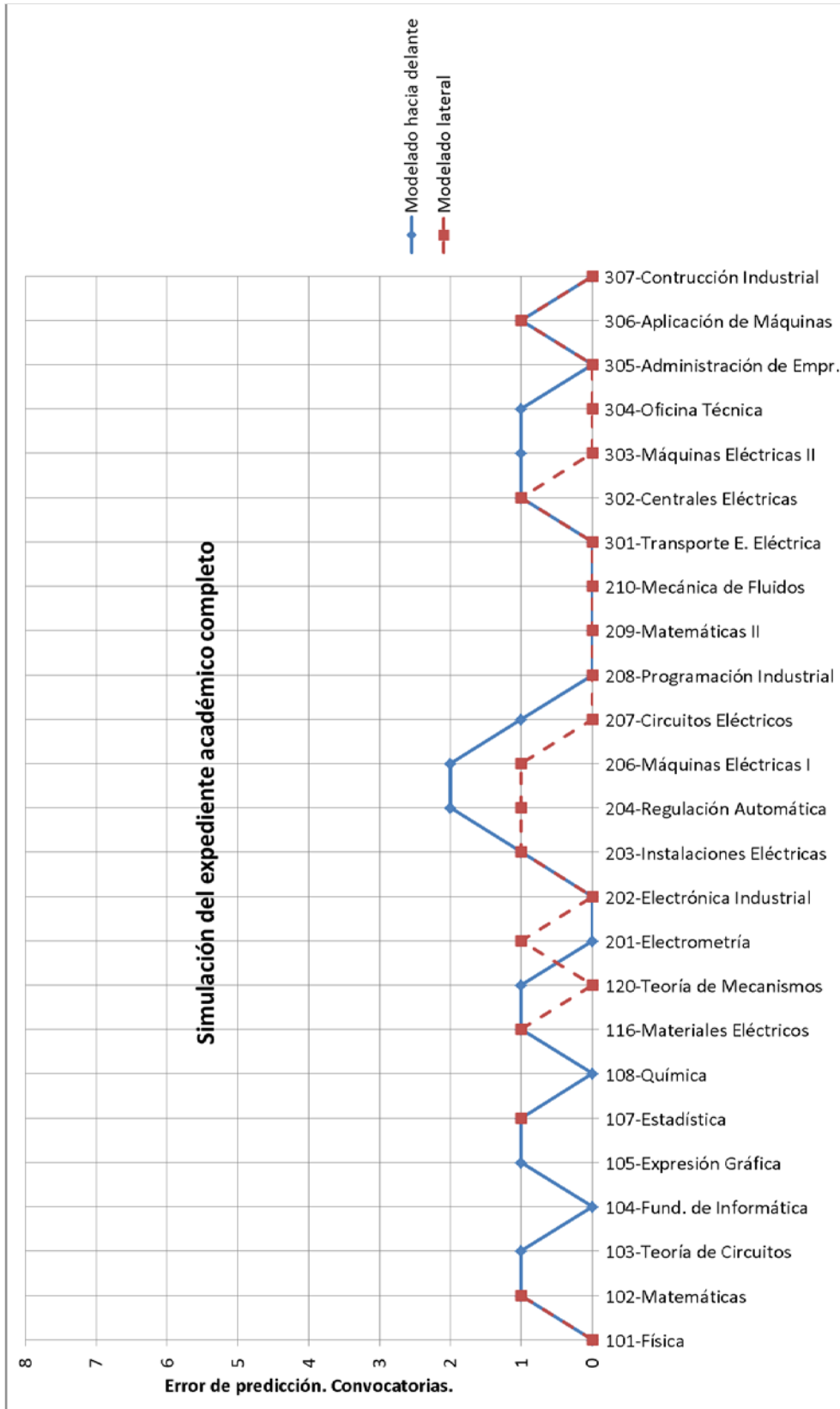


Ilustración 106. Modelado convocatorias. Expediente académico completo.

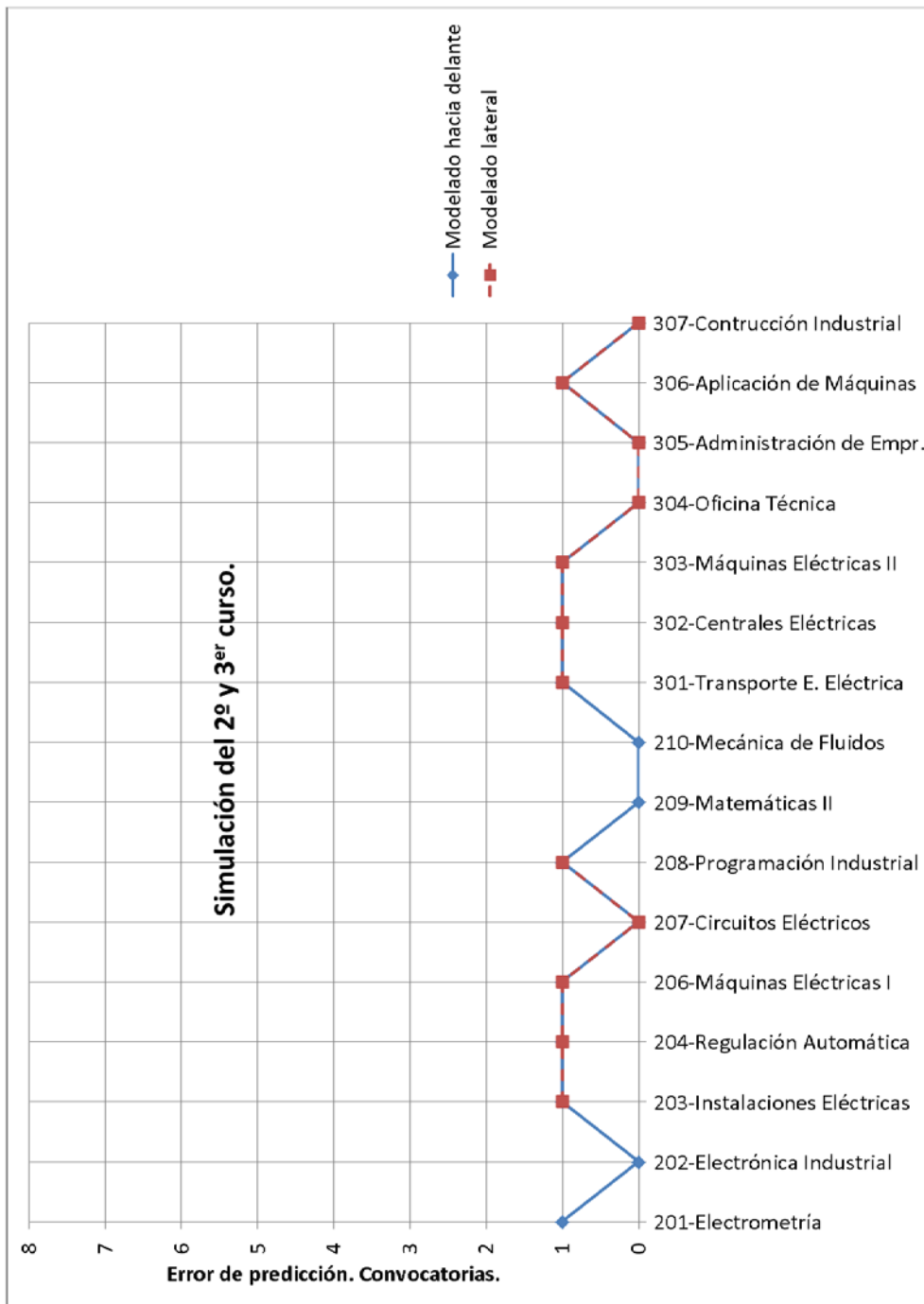


Ilustración 107. Modelado convocatorias. Segundo y tercer curso.

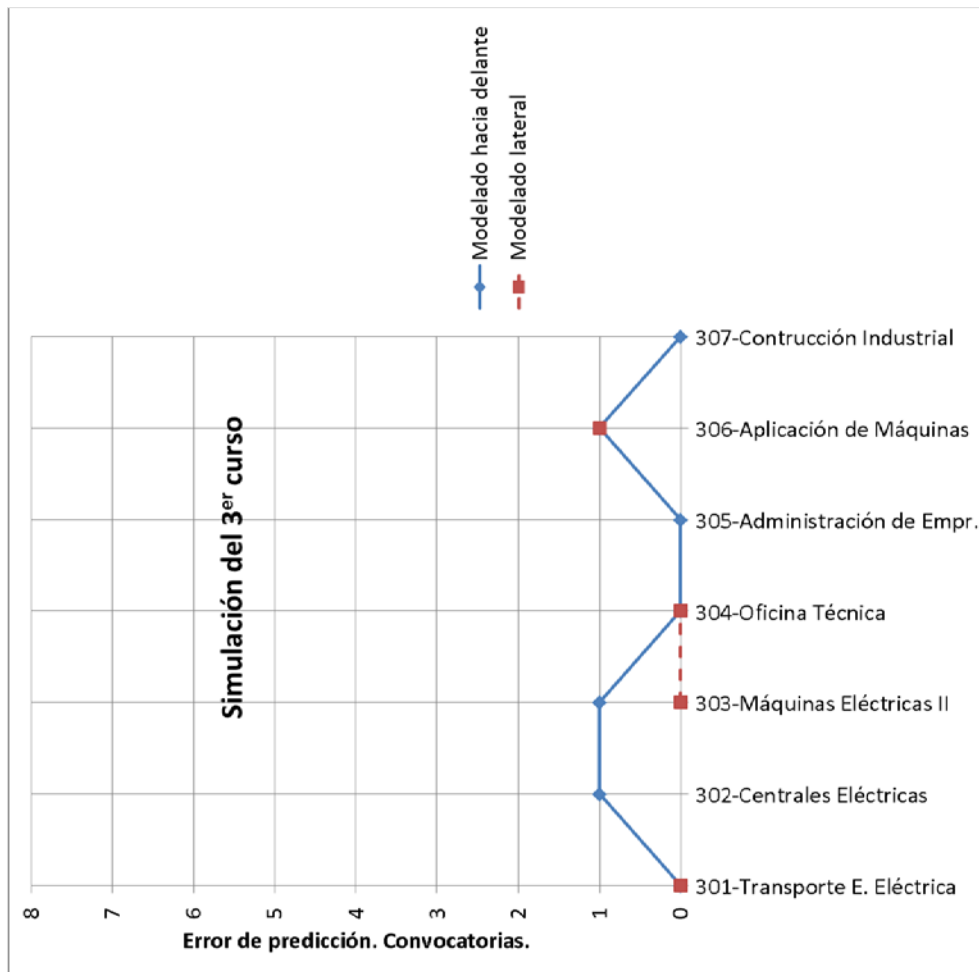


Ilustración 108. Modelado convocatorias. Tercer curso.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error								
101	1	1	0								
102	2	1	1								
103	2	1	1								
104	1	1	0								
105	2	1	1								
107	2	1	1								
108	1	1	0								
116	2	1	1								
120	2	1	1								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º CURSO							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error				
201	2	2	0	201	1	2	1				
202	1	1	0	202	1	1	0				
203	1	2	1	203	1	2	1				
204	3	1	2	204	2	1	1				
206	3	1	2	206	2	1	1				
207	2	1	1	207	1	1	0				
208	2	2	0	208	1	2	1				
209	1	1	0	209	1	1	0				
210	2	2	0	210	2	2	0				
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error
301	2	2	0	301	1	2	1	301	2	2	0
302	1	2	1	302	1	2	1	302	1	2	1
303	3	2	1	303	3	2	1	303	3	2	1
304	2	1	1	304	1	1	0	304	1	1	0
305	1	1	0	305	1	1	0	305	1	1	0
306	2	1	1	306	2	1	1	306	2	1	1
307	1	1	0	307	1	1	0	307	1	1	0

Tabla 161. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, convocatorias.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error								
101	1	1	0								
102	2	1	1								
103		1									
104		1									
105		1									
107	2	1	1								
108		1									
116	2	1	1								
120	1	1	0								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º CURSO							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error				
201	1	2	1	201		2					
202	1	1	0	202		1					
203	1	2	1	203	1	2	1				
204	2	1	1	204	2	1	1				
206	2	1	1	206	2	1	1				
207	1	1	0	207	1	1	0				
208	2	2	0	208	1	2	1				
209	1	1	0	209		1					
210	2	2	0	210		2					
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error
301	2	2	0	301	1	2	1	301	2	2	0
302	1	2	1	302	1	2	1	302		2	
303	2	2	0	303	3	2	1	303	2	2	0
304	1	1	0	304	1	1	0	304	1	1	0
305	1	1	0	305	1	1	0	305		1	
306	2	1	1	306	2	1	1	306	2	1	1
307	1	1	0	307	1	1	0	307		1	

Tabla 162. Resumen de los resultados del modelado lateral, convocatorias.

4.2 Valoración de los casos atípicos

En el modelado del expediente académico del estudiante se consigue una alta precisión en la predicción de los resultados relativo a las convocatorias. En el caso de las calificaciones, el modelo comete errores de predicción más elevados que en los casos aleatorios. Se detalla a continuación la valoración de los resultados.

4.2.1 Simulaciones de las calificaciones

En la Tabla 163 se muestra el resumen de los resultados del modelado hacia delante y en la Tabla 164 los del modelado lateral. Seguidamente se resalta lo más significativo de cada tipo de predicción.

4.2.1.1 Expediente completo

En el modelado hacia delante hay 9 materias en las cuales se alcanza un error que oscila entre el 10% y el 23,60%, en las 17 restantes que componen el plan de estudios el error cometido es menor del 10 %.

En el caso del modelado lateral, en 13 asignaturas se comete un error de predicción que varía entre el 11,80% y el 29,40%, y en las otras 9 el error alcanzado es menor del 10%.

En la Ilustración 109 se muestra el comportamiento de los modelos.

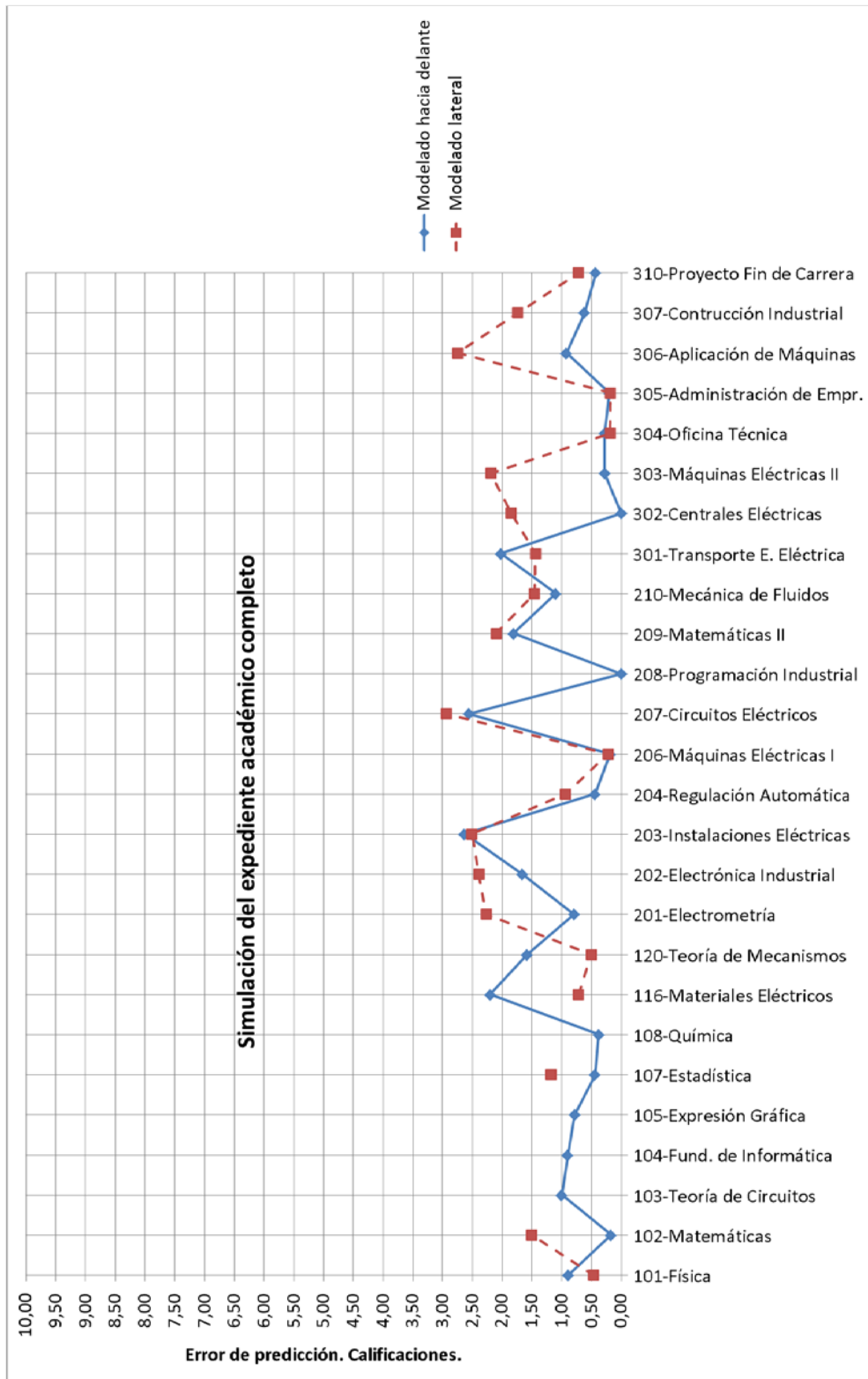


Ilustración 109. Modelado calificaciones. Expediente académico completo.

4.2.1.2 Segundo y tercer curso

Hay 11 materias que se predicen en el modelado hacia delante con un error comprendido entre 10,90% y 27,50%, en las 6 restantes el error de predicción es menor del 10%.

En el modelado lateral, 7 materias presentan un error que varía desde el 12,20% al 27,50% y en las otras 6 materias el error alcanzado es menor del 10%.

En la Ilustración 110 se muestra el comportamiento de los modelos.

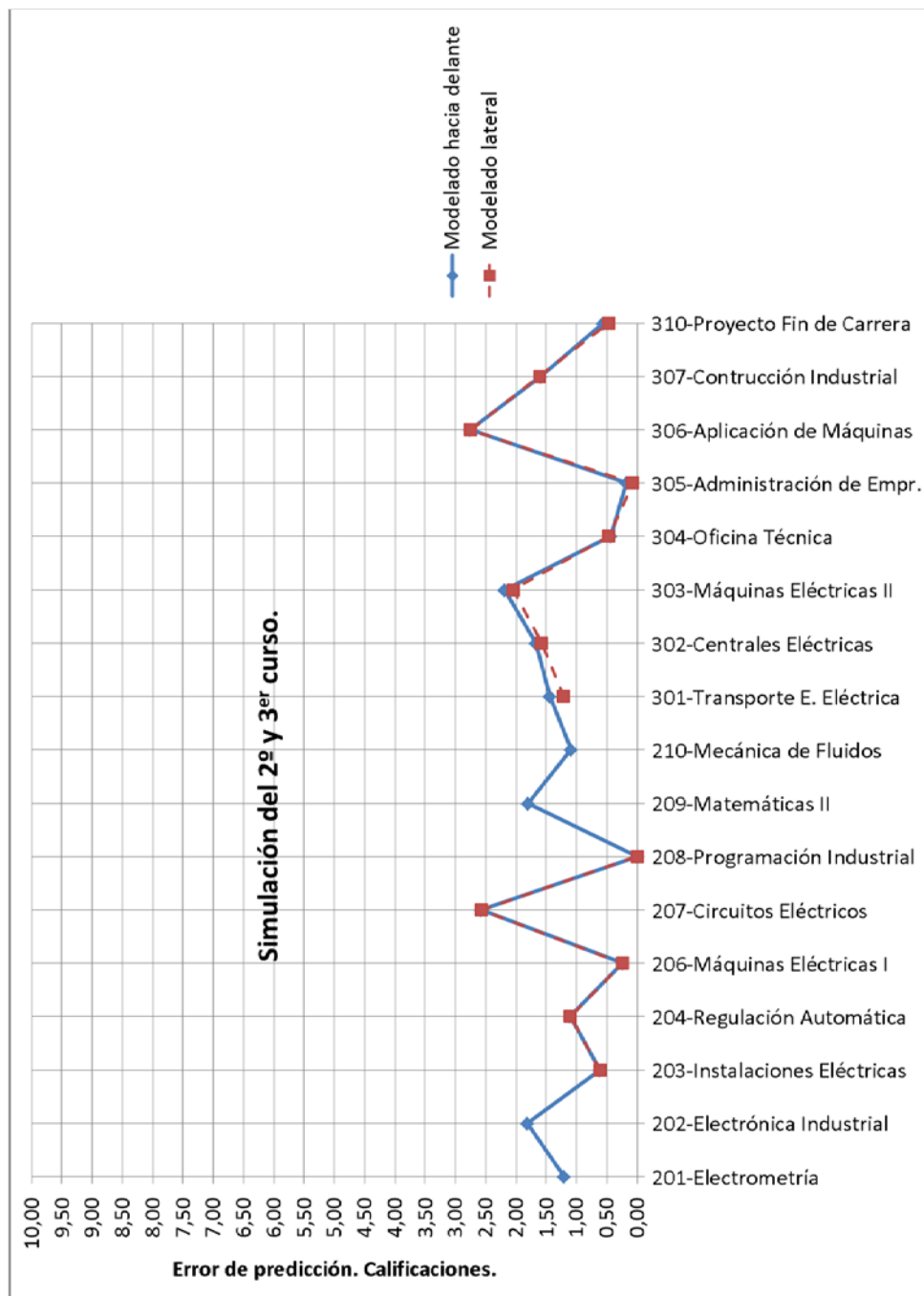


Ilustración 110. Modelado calificaciones. Segundo y tercer curso.

4.2.1.3 Tercer curso

En el modelado hacia delante 5 materias se predicen con un error que oscila entre el 14,10% y el 27,50%, las 3 restantes presentan un error menor del 10%.

En el modelado lateral, 2 materias muestran un error que oscila entre el 17,80% y el 34% y las 3 restantes ofrecen un error menor del 10%.

En la Ilustración 111 se representa el comportamiento de los modelos.

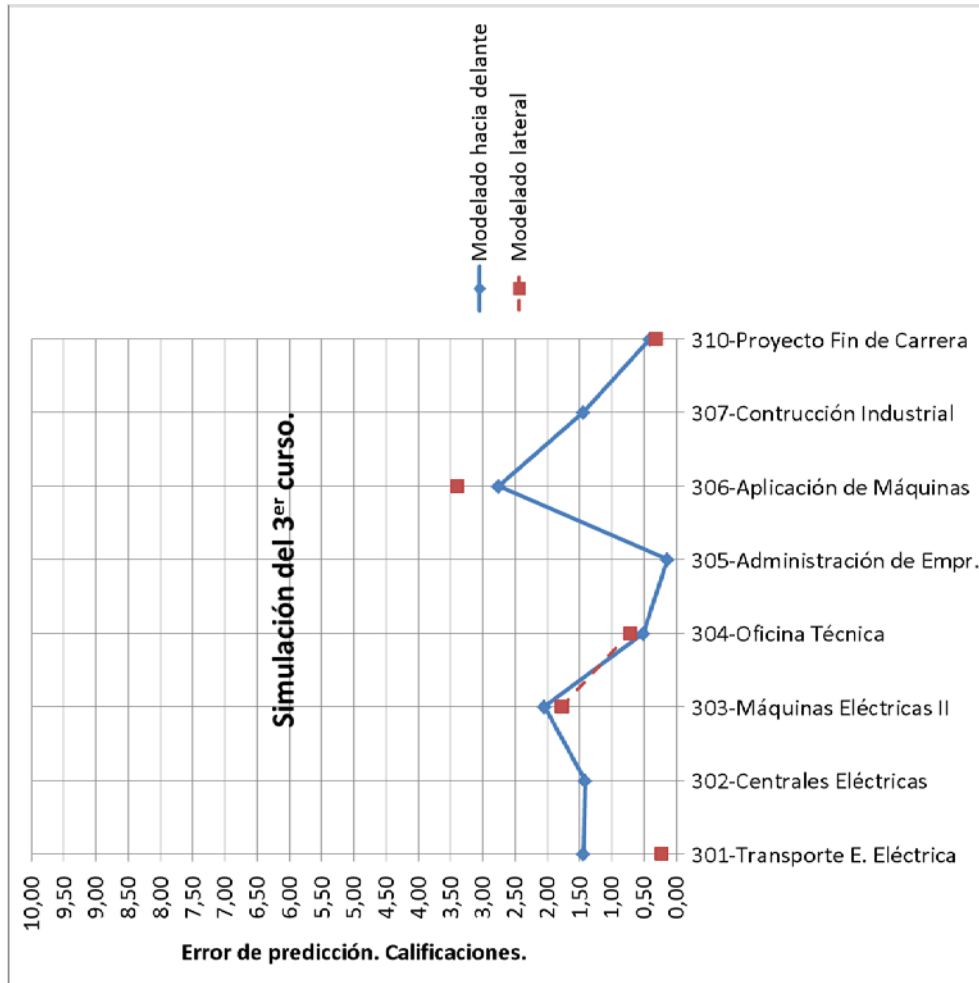


Ilustración 111. Modelado calificaciones. Tercer curso.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error								
101	6,02	5,5	8,90%								
102	5,78	5,5	1,70%								
103	6,15	5,5	10,00%								
104	7,45	7,5	9,00%								
105	6,35	7,5	7,80%								
107	6,9	7,5	4,40%								
108	7,04	9	3,80%								
116	6,57	7,5	22,00%								
120	5,82	5,5	15,80%								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º curso							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error				
201	8,79	10,0	7,90%	201	8,79	10,0	12,10%				
202	8,24	9,90	16,60%	202	8,08	9,90	18,20%				
203	7,37	10,0	26,30%	203	9,38	10,0	6,20%				
204	5,74	5,30	4,40%	204	6,40	5,30	11,00%				
206	5,81	6,00	1,90%	206	5,76	6,00	2,40%				
207	7,44	10,0	25,60%	207	7,43	10,0	25,70%				
208	10,0	10,0	0,00%	208	10,0	10,0	0,00%				
209	8,19	10,0	18,10%	209	8,20	10,0	18,00%				
210	8,90	10,0	11,00%	210	8,91	10,0	10,90%				
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error
301	7,26	8,70	20,20%	301	7,26	8,70	14,40%	301	7,26	8,70	14,40%
302	7,36	9,00	0,00%	302	7,33	9,00	16,70%	302	7,59	9,00	14,10%
303	6,65	8,70	2,80%	303	6,51	8,70	21,90%	303	6,65	8,70	20,50%
304	7,55	7,00	2,80%	304	7,43	7,00	4,30%	304	7,51	7,00	5,10%
305	7,56	7,40	2,00%	305	7,57	7,40	1,70%	305	7,54	7,40	1,40%
306	7,25	10,0	9,20%	306	7,25	10,0	27,50%	306	7,25	10,0	27,50%
307	8,28	10,0	6,20%	307	8,41	10,0	15,90%	307	8,56	10,0	14,40%
310	8,07	8,60	4,30%	310	8,04	8,60	5,60%	310	8,19	8,60	4,10%

Tabla 163. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, calificaciones.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error								
101	8,34	8,80	4,60%								
102	7,49	9,00	15,10%								
103		8,00									
104		9,90									
105		9,30									
107	5,82	7,00	11,80%								
108		9,60									
116	7,08	7,80	7,20%								
120	8,50	9,00	5,00%								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º curso							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error				
201	7,73	10,0	22,70%	201		10,0					
202	7,51	9,90	23,90%	202		9,90					
203	7,49	10,0	25,10%	203	8,33	10,0	16,70%				
204	6,23	5,30	9,30%	204	6,01	5,30	7,10%				
206	5,78	6,00	2,20%	206	5,78	6,00	2,20%				
207	7,06	10,0	29,40%	207	7,50	10,0	25,00%				
208	10,0	10,0	0,00%	208	9,26	10,0	7,40%				
209	7,90	10,0	21,00%	209		10,0					
210	8,54	10,0	14,60%	210		10,0					
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error	Materia	Calificación modelo	Calificación real	Error
301	7,26	8,70	14,40%	301	6,78	8,70	12,20%	301	8,47	8,70	2,30%
302	7,15	9,00	18,50%	302	7,42	9,00	15,80%	302		9,00	
303	6,51	8,70	21,90%	303	6,65	8,70	20,50%	303	6,92	8,70	17,80%
304	7,19	7,00	1,90%	304	7,47	7,00	4,70%	304	7,72	7,00	7,20%
305	7,22	7,40	1,80%	305	7,33	7,40	0,70%	305		7,40	
306	7,25	10,0	27,50%	306	7,25	10,0	27,50%	306	6,60	10,0	34,00%
307	8,26	10,0	17,40%	307	8,39	10,0	16,10%	307		10,0	
310	7,88	8,60	7,20%	310	8,13	8,60	4,70%	310	8,28	8,60	3,20%

Tabla 164. Resumen de los resultados del modelado lateral, calificaciones.

4.2.2 Simulaciones de las convocatorias

En la Tabla 165 se muestra el resumen de los resultados del modelado hacia delante y en la Tabla 166 los del modelado lateral, con el objetivo de realizar la cotejar ambos. Seguidamente se resalta lo más destacado de cada simulación.

4.2.2.1 Expediente completo

En el modelado hacia delante únicamente hay 3 materias en las que se produce un error de predicción de 1 convocatoria. En las restantes 22 materias el error de predicción es nulo.

En el modelado lateral, hay una materia que presenta un error de 2 convocatorias, 3 con un error de 1 convocatoria y en las 17 restantes el error es nulo.

En la Ilustración 112 se muestra el comportamiento de los modelos.

4.2.2.2 Segundo y tercer curso

En el modelado hacia delante el error de predicción es igual a 1 convocatoria en 2 materias y nulo en las 15 restantes.

En el modelado lateral únicamente una materia presenta un error de predicción de 1 convocatoria, en las 11 restantes el error es nulo.

En la Ilustración 113 se representa el comportamiento de los modelos.

4.2.2.3 Tercer curso

En el modelado hacia delante hay dos materias con un error de 1 convocatoria y 5 con error nulo.

En el modelado lateral el error de predicción es nulo en todas las materias.

En la Ilustración 114 se muestra la evolución de los modelos.

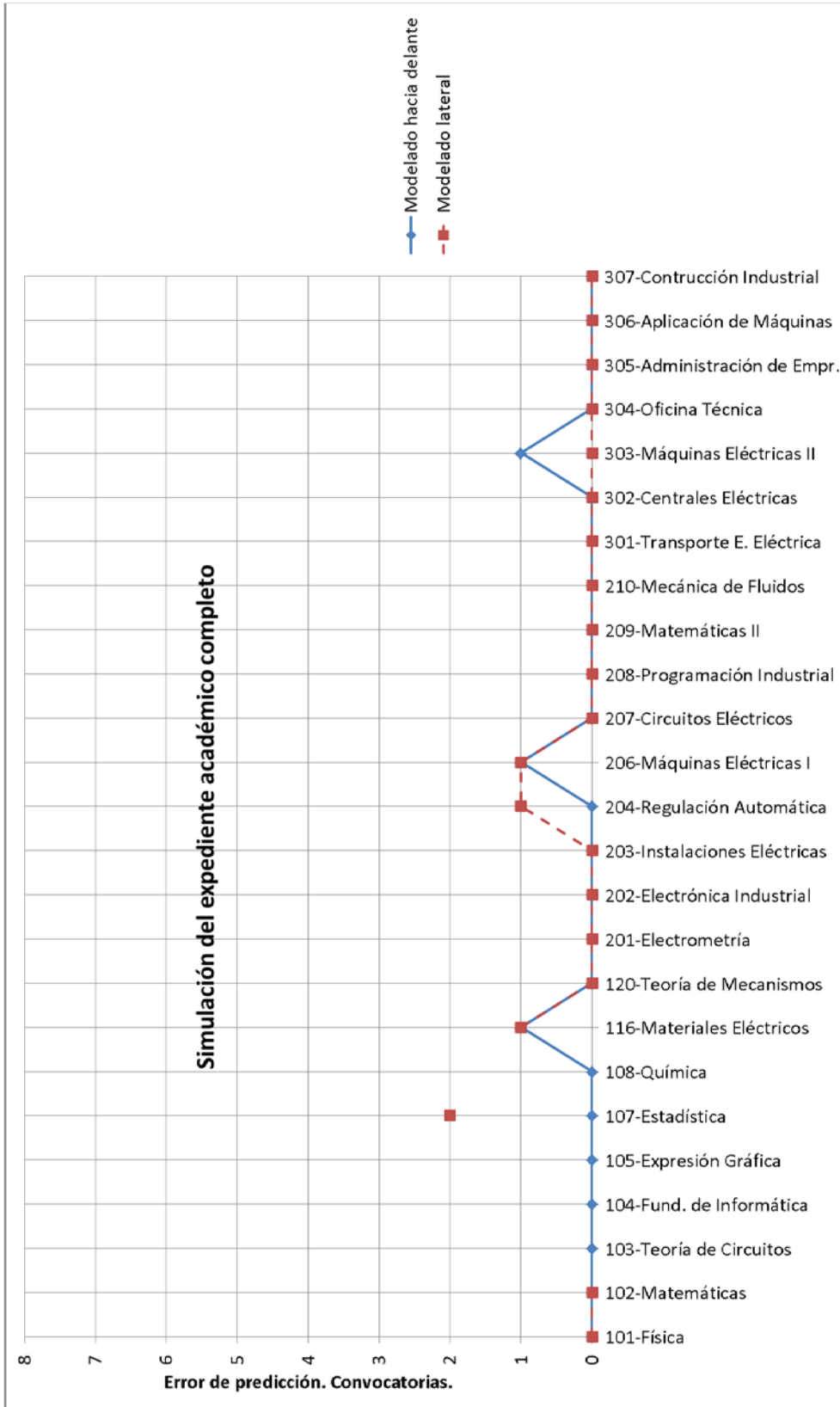


Ilustración 112. Modelado convocatorias. Expediente académico completo.

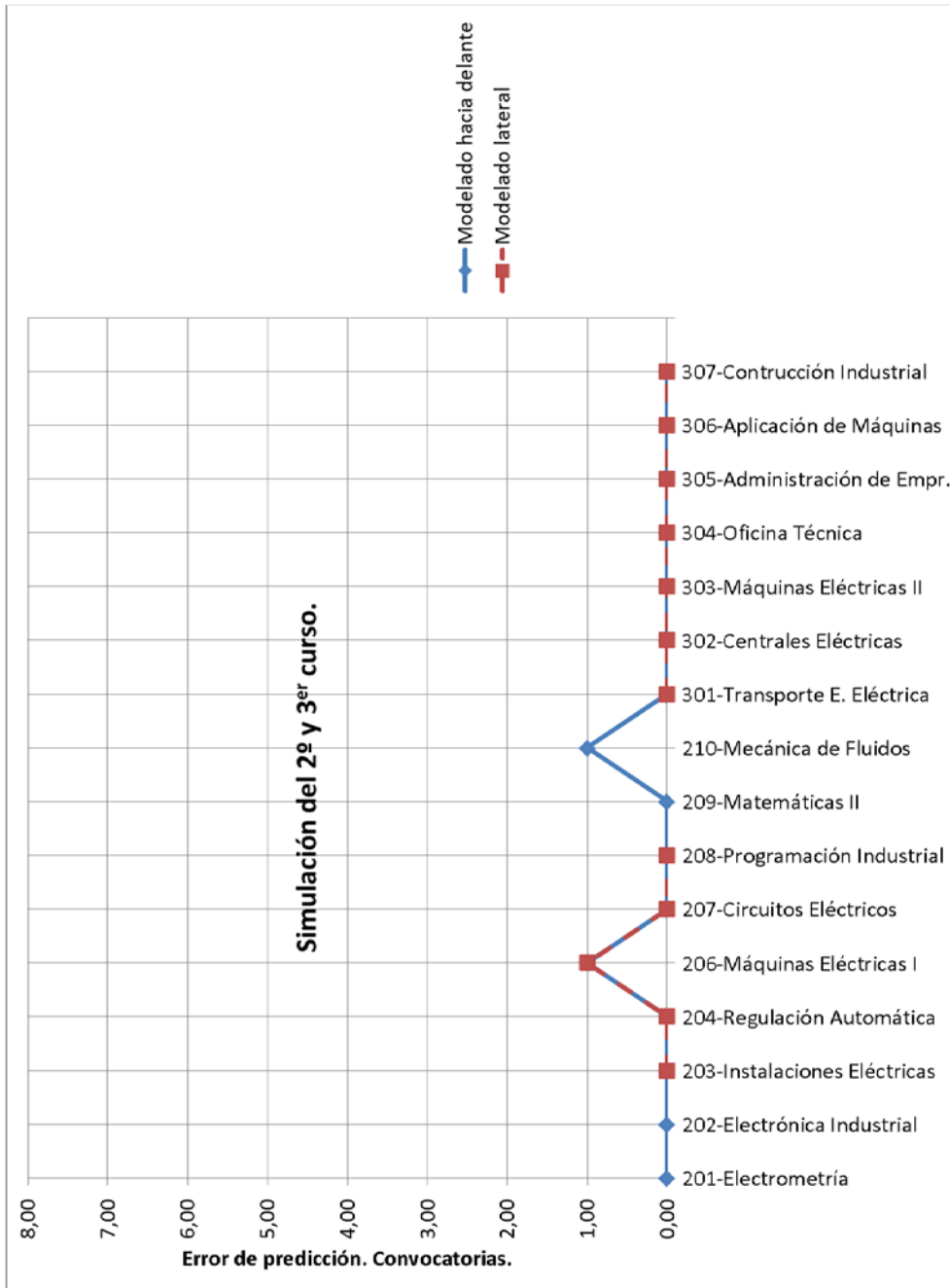


Ilustración 113. Modelado convocatorias. Segundo y tercer curso.

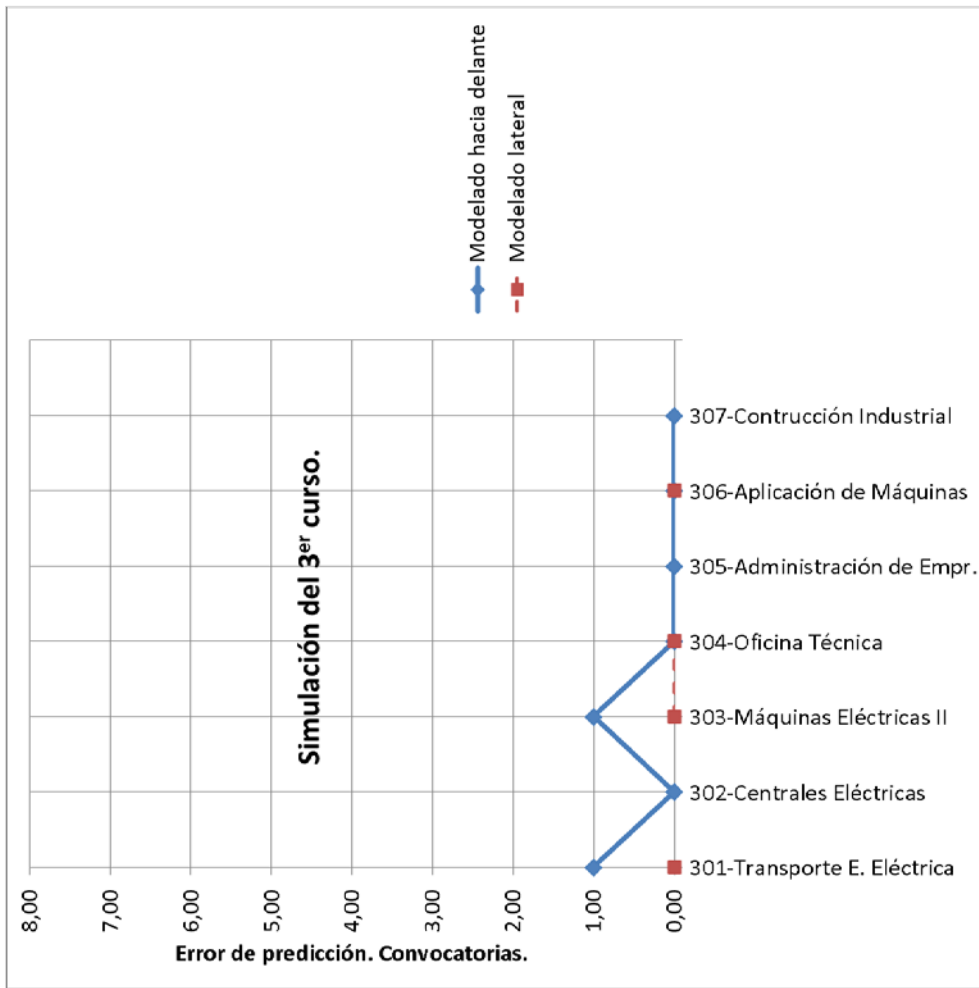


Ilustración 114. Modelado convocatorias. Tercer curso.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error								
101	1	1	0								
102	1	1	0								
103	1	1	0								
104	1	1	0								
105	1	1	0								
107	1	1	0								
108	1	1	0								
116	2	1	1								
120	1	1	0								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º curso							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error				
201	1	1	0	201	1	1	0				
202	1	1	0	202	1	1	0				
203	1	1	0	203	1	1	0				
204	1	1	0	204	1	1	0				
206	2	1	1	206	2	1	1				
207	1	1	0	207	1	1	0				
208	1	1	0	208	1	1	0				
209	1	1	0	209	1	1	0				
210	1	1	0	210	2	1	1				
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error
301	1	1	0	301	1	1	0	301	2	1	1
302	1	1	0	302	1	1	0	302	1	1	0
303	2	1	1	303	1	1	0	303	2	1	1
304	1	1	0	304	1	1	0	304	1	1	0
305	1	1	0	305	1	1	0	305	1	1	0
306	1	1	0	306	1	1	0	306	1	1	0
307	1	1	0	307	1	1	0	307	1	1	0

Tabla 165. Resumen de los resultados del modelado hacia delante, convocatorias.

EXPEDIENTE COMPLETO											
PRIMER CURSO											
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error								
101	1	1	0								
102	1	1	0								
103		1									
104		1									
105		1									
107	3	1	2								
108		1									
116	2	1	1								
120	1	1	0								
SEGUNDO CURSO				2º y 3º curso							
SEGUNDO CURSO				SEGUNDO CURSO							
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error				
201	1	1	0	201		1					
202	1	1	0	202		1					
203	1	1	0	203	1	1	0				
204	2	1	1	204	1	1	0				
206	2	1	1	206	2	1	1				
207	1	1	0	207	1	1	0				
208	1	1	0	208	1	1	0				
209	1	1	0	209		1					
210	1	1	0	210		1					
TERCER CURSO				TERCER CURSO				TERCER CURSO			
Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error	Materia	Convocatoria modelo	Convocatoria real	Error
301	1	1	0	301	1	1	0	301	1	1	0
302	1	1	0	302	1	1	0	302		1	
303	1	1	0	303	1	1	0	303	1	1	0
304	1	1	0	304	1	1	0	304	1	1	0
305	1	1	0	305	1	1	0	305		1	
306	1	1	0	306	1	1	0	306	1	1	0
307	1	1	0	307	1	1	0	307		1	

Tabla 166. Resumen de los resultados del modelado lateral, convocatorias.

Capítulo 12. Conclusiones

1 CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se pueden extraer del trabajo de investigación realizado, atendiendo a la metodología de preparación de los datos, los métodos propuestos y los resultados obtenidos, son las que se relacionan a continuación:

- Se logra predecir el rendimiento individual del alumnado a lo largo de toda la carrera, expresado mediante las calificaciones y las convocatorias utilizadas en cada asignatura a cursar. La predicción se realiza a partir de la nota de acceso a la universidad y de las sucesivas calificaciones y convocatorias que va obteniendo cada estudiante al superar las materias, según progresa en los sucesivos cursos de la titulación.
- Se consigue una alta precisión en la predicción de las calificaciones en los dos tipos de modelado empleados: modelado hacia delante y modelado lateral. En el modelado hacia delante, el mayor MAE obtenido al predecir las calificaciones es de 1,12 puntos en la titulación de ITI, Electricidad y de 1,23 puntos en la de ITI, Electrónica. Destacar que solamente se produce un MAE igual o superior a un punto, en 3 de las 26 materias que componen el plan de estudios de ITI, Electricidad y en 4 de las 25 que componen el plan de estudios de ITI, Electrónica. En el modelado lateral, el mayor MAE obtenido es de 1,07 puntos en la titulación de ITI, Electricidad y de 1,15 puntos en la titulación de ITI, Electrónica. Resaltar que únicamente se alcanza un MAE igual o superior a un punto, en 2 de las 14 materias, contempladas para el estudio en la titulación de ITI, Electricidad y en 1 de las 13 materias, en la titulación de ITI, Electrónica.
- Se obtiene una elevada precisión en la predicción de las convocatorias en los dos tipos de modelado utilizados: modelado hacia delante y modelado lateral. En el modelado hacia delante, el mayor MAE obtenido al predecir las convocatorias es de 1,25 convocatorias en la titulación de ITI, Electricidad y de 1,09 convocatorias en la de ITI, electrónica. Subrayar que solamente se alcanza un MAE igual o superior a 1 convocatoria, en 2 de las 26 materias, que componen el plan de estudios de ITI, Electricidad y en 1 de las 25 materias, que componen el plan de estudios de ITI, Electrónica. En el modelado lateral, en la titulación de ITI, Electricidad el MAE es inferior a 1 convocatoria en las 14 materias utilizadas para el estudio y en la titulación de ITI, Electrónica, el mayor MAE resultante es de 1,12 convocatorias. Destacar que solamente se alcanza una MAE igual o superior a 1 convocatoria, en 3 de las 13 materias, contempladas en la titulación de ITI, Electrónica.
- El procedimiento de obtención del modelo se puede aplicar en nuevas titulaciones, dado que se constata que la precisión de predicción alcanzada por el modelo propuesto es satisfactoria en las dos titulaciones analizadas.
- La utilización de los modelos locales no reduce de forma significativa el MAE con respecto a los modelos globales. Indicar que, en el caso de la predicción de las calificaciones, la mejora obtenida con los modelos locales es siempre inferior a 0,1 puntos, salvo en 1 de los 78 casos contemplados en el cual el MAE se reduce 0,11 puntos.

- Se incrementa la precisión de predicción mediante la combinación de los tres métodos empleados para el modelado: RNA, LS-SVR y Poli-M y la selección en cada caso del que proporciona el menor MSE.
- Los mejores resultados se obtienen con método LS-SVR, tanto en los modelos globales como en los locales. En los modelos globales es el de mayor precisión en el 53,16 % de los casos, seguido del método RNA con el 26,58 % y del método Poli-M con el 20,25 %. En los modelos locales, es el de mayor precisión en el 60,59 % de los casos, seguido del método Poli-M con el 22,03 % y del método RNA con el 17,37 %.
- Las calificaciones medias obtenidas por el alumnado en las diferentes materias de los planes de estudios analizados son bajas. Si exceptuamos el Proyecto Fin de Carrera, solamente hay una materia en cada titulación que supera la calificación media de 7 puntos.
- Se constata el bajo rendimiento académico resultante en las titulaciones de Ingeniería, ya que, los titulados emplean una media de 5,96 años en realizar una carrera que tiene una duración teórica de tres.
- Las calificaciones alcanzadas por los estudiantes en las diferentes asignaturas están muy poco relacionadas. Se obtienen coeficientes de correlación muy bajos, incluso en muchos casos próximos a cero, siendo el mayor coeficiente de determinación resultante de 0,18, lo que implica que, en el mejor de los casos, solamente se consigue explicar el 18% de la variabilidad de la variable dependiente.
- Mediante el análisis estadístico de las calificaciones de cada asignatura, se consigue detectar aquellas que influyen de forma significativa en el retraso de la finalización de los estudios y en el rendimiento global de cada titulación.

*Capítulo 13. Producción científica y
trabajos futuros*

1 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Como resultado de las investigaciones realizadas se ha publicado el siguiente artículo:

J.A. López-Vázquez, J.A. Orosa, J.L. Calvo-Rolle, F.J. de Cos Juez, J.L. Castelerio-Roca, A.M. Costa. A New Way to Improve Subject Selection in Engineering Degree Studies. International Joint Conference: 8th International Conference on Computational Intelligence in Security for Information Systems (CISIS'15) and 6th International Conference on European Transnational Education (ICEUTE'15). Advances in Intelligent Systems and Computing. June 2015. Vol. 369. Pages 533-544.

ISBN: 978-3-319-19712-8. <http://www.springer.com/978-3-319-19712-8>

2 TRABAJOS FUTUROS

Son numerosos los trabajos que se pueden llevar a cabo a partir de los resultados conseguidos, así como de ideas y experiencias extraídas del desarrollo de los métodos que se proponen en el presente trabajo de investigación. Entre los más relevantes, se citan los siguientes:

- Probar nuevos métodos de clasificación, regresión y detección de variables significativas que contribuyan a mejorar la presente investigación. Incluso con los métodos empleados, se contempla la posibilidad de conseguir mejoras incorporando nuevas variables que puedan influir en el rendimiento del estudiante, como son: las calificaciones de materias concretas cursadas en la etapa previa a la universitaria y los resultados de pruebas complementarias que realizaría el alumnado al ingresar en la universidad.
- Detectar e implementar nuevos métodos de ayuda para complementar y hacer los modelos más precisos y fiables. Se plantea la posibilidad de incorporar todas las calificaciones y convocatorias de cada materia, tal como se recogen en las actas, de forma que figure el historial completo hasta que el estudiante logre superar cada una de las materias.
- Implementación de una aplicación interactiva y de fácil manejo como soporte para el Plan de Acción Tutorial - PAT, con el objetivo de obtener información sobre el rendimiento académico del estudiante con vistas a diseñar actuaciones concretas.
- Establecer una metodología para la creación de modelos Ad-Hoc, que sirvan de base para orientar al estudiante sobre cuál sería el itinerario académico que posibilitaría mejorar su rendimiento. Se trataría de formular recomendaciones basadas en los resultados obtenidos por otros estudiantes con similares características, que han cursado las materias en períodos anteriores.
- Crear una base de conocimiento para dar apoyo a la nueva casuística. La base se irá formando con los modelos generados para cada caso concreto.
- Establecer metodologías de agrupamiento de estudiantes en base a perfiles similares, con el objetivo de mitigar las debilidades comunes y enfocadas a mejorar el rendimiento académico del alumnado.

- Descubrir cuáles son los perfiles de abandono y/o retraso en los estudios, para tratar de prevenirlos en su fase temprana.
- Definir y crear modelos para dar soporte a las labores de coordinación horizontal y vertical de las diferentes materias de las nuevas titulaciones de grado. En este aspecto, tiene especial relevancia el utilizar técnicas estadística enfocadas al estudio y análisis de las calificaciones particulares de cada materia, para darle mayor visibilidad a los resultados de cada una. Los objetivos de este trabajo son comprobar cómo influye cada asignatura en el rendimiento global de la titulación y valorar si su ubicación en el plan de estudios es la idónea.

Capítulo 14. Referencias

1 REFERENCIAS

- [1] *Real Decreto 861/2010, por el que se modifica el Real Decreto 1393/2007, que establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.* 2007, pp. 58454–58468. BOE N° 161.
- [2] *Real Decreto 1393/2007, ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.* 2007, pp. 44037–44048. BOE N° 260.
- [3] ANECA, “Programa Verifica.” Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Madrid, 2012.
- [4] ANECA, “Programa Monitor.” Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Madrid, 2014.
- [5] ANECA, “Programa Acredita.” Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Madrid, 2014.
- [6] J. Bará, J. F. Córdoba, R. de Luis, J. Hernández, and P. Martín, *Evaluación Transversal del Rendimiento Académico de las Ingenierías Técnicas.* Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2002.
- [7] A. Espina, “La Formación Técnica Postsecundaria y la Competitividad de la Economía Española,” *Rev. Española Investig. Sociológicas*, vol. 77, pp. 69–115, 1997.
- [8] C. Pérez, *El Rendimiento Académico en las Universidades Españolas.* Madrid: Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas, 2012.
- [9] J. Hernández, *La Universidad Española en Cifras.* Madrid: Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas, 2008.
- [10] J. Hernández, *La Universidad Española en Cifras.* Madrid: Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas, 2010.
- [11] F. Michavila, *La Universidad Española en Cifras.* Madrid: Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas, 2012.
- [12] Secretaría General de Universidades, “Datos del Sistema Universitario Español.” Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, 2013.
- [13] OECD, “Education at a Glance 2014. OECD Indicators.” OECD Publishing., 2014.
- [14] ENQA, “Standards and guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area.” European Association for Quality Assurance in Higher Education, Helsinki, 2005.

- [15] ANECA, "Programa AUDIT." Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Madrid, 2007.
- [16] M. Miguel Díaz, *Evaluación del rendimiento en la enseñanza superior: resultados entre alumnos procedentes de la LOGSE y del COU*. Oviedo: Ministerio de Educación, 2002.
- [17] F. Javier and T. Tejedor, "Causas del bajo rendimiento del estudiante universitario (en opinión de los profesores y alumnos). Propuestas de mejora en el marco del EEES," *Rev. Educ.*, vol. 342, pp. 443–473, 2007.
- [18] J. Tournon, *Factores de Rendimiento Académico en la Universidad*. Barañáin: EUNSA. Ediciones Universidad de Navarra, 1984.
- [19] T. Escudero Escorza, "La evaluación y mejora de la enseñanza en la Universidad otra perspectiva," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 18, pp. 405–416, 2000.
- [20] I. González, "Realización de un Análisis Discriminante Explicativo del Rendimiento Académico en la Universidad," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 22, no. 1, pp. 43–59, 2004.
- [21] F. Tejedor, "Poder explicativo de algunos determinantes del rendimiento en los estudios universitarios," *Rev. Española Pedagog.*, vol. LXI, pp. 5–32, 2003.
- [22] F. Miguel and J. Arias, "La evaluación del rendimiento inmediato en la enseñanza universitaria," *Rev. Educ.*, vol. 320, pp. 353–377, 1999.
- [23] J. Carabaña, "¿Se devaluaron los títulos?," *Rev. Española Investig. Sociológicas*, vol. 75, pp. 173–213, 1996.
- [24] A. N. de E. de la C. y Acreditación, "El Profesional Flexible en la Sociedad del Conocimiento." ANECA, Madrid, 2007.
- [25] M. J. Freire, *La inserción laboral de los graduados de la Universidad de A Coruña 2008/2009*. A Coruña, 2011.
- [26] E. Fita and M. Torrado, "El rendimiento académico en la transición Secundaria-Universidad," *Rev. Educ.*, vol. 334, pp. 391–414, 2004.
- [27] Y. Ocaña, "Variables académicas que influyen en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios," *Investig. Educ.*, vol. 15, no. 27, pp. 165–179, 2011.
- [28] M. Del and R. Willcox, "Factores de riesgo y protección para el rendimiento académico: Un estudio descriptivo en estudiantes de Psicología de una universidad privada," *Rev. Iberoam. Educ.*, vol. 55, no. 1, pp. 1–9, 2011.

- [29] N. Dávila, "Un modelo de regresión logística asimétrico que puede explicar la probabilidad de éxito en el rendimiento académico," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 33, pp. 27–45, 2015.
- [30] A. Vélez van Meerbeke and C. N. Roa González, "Factors associated with academic performance in medical students," *Educ. Médica*, vol. 8, no. 2, pp. 74–82, 2005.
- [31] F. Díaz, "La predicción del rendimiento académico en la universidad," *Enseñanza Teach.*, vol. 13, pp. 43–61, 1995.
- [32] D. Palomares-Montero, A. García-Aracil, and E. Castro-Martínez, "Evaluación de las instituciones de educación superior: revisión bibliográfica de sistema de indicadores," *Rev. Española Doc. Científica*, vol. 31, pp. 205–229, 2008.
- [33] M. Glogowska, P. Young, and L. Lockyer, "Should I go or should I stay?: A study of factors influencing students' decision on early leaving," *Act. Learn. High. Educ.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–77, 2007.
- [34] V. Busch, a. Luyen, M. Lodder, a. J. P. Schrijvers, T. a. van Yperen, and J. R. J. de Leeuw, "The Effects of Adolescent Health-Related Behavior on Academic Performance: A Systematic Review of the Longitudinal Evidence," *Rev. Educ. Res.*, vol. 84, no. 2, pp. 245–274, 2014.
- [35] O. Frischenschlager, G. Haidinger, and L. Mitterauer, "Factors associated with academic success at Vienna Medical School: prospective survey.," *Croat. Med. J.*, vol. 46, no. 1, pp. 58–65, 2005.
- [36] G. M. Garbanzo Vargas, "Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios, una reflexión desde la calidad de la educación superior pública.," *Rev. Educ.*, vol. 31, no. 1, pp. 43–63, 2007.
- [37] M. C. Ibarra and J. C. Michalus, "Análisis del rendimiento académico mediante un modelo Logit," *Ing. Ind.*, vol. 2, pp. 47–56, 2010.
- [38] M. Lee and J. Gardner, *A Handbook for Improving the First Year of College*. San Francisco: Barefoot&Associates, 2005.
- [39] K. McKenzie and R. Schweitzer, "Who Succeeds at University? Factors predicting academic performance in first year Australian university students," *High. Educ. Res. Dev.*, vol. 20, pp. 21–33, 2001.
- [40] C. Mills, J. Heyworth, L. Rosenwax, S. Carr, and M. Rosenberg, "Factors associated with the academic success of first year Health Science students," *Adv. Heal. Sci. Edutation*, vol. 14, no. 2, pp. 205–217, 2009.

- [41] M. Salanova, W. Schaufeli, I. Martinez, and E. Bresó, "How obstacles and facilitators predict academic performance: the mediating role of study burnout and engagement.," *Anxiety. Stress. Coping*, vol. 23, pp. 53–70, 2010.
- [42] J. Smith and R. Naylor, "Schooling effects on subsequent university performance: Evidence for the UK university population," *Econ. Educ. Rev.*, vol. 24, pp. 549–562, 2005.
- [43] F. Pérez and R. García-Ros, "Validez predictiva e incremental de las habilidades de autorregulación sobre el éxito académico en la universidad," *Rev. Psicodidáctica*, vol. 16, no. 2, pp. 231–250, 2011.
- [44] M. Esperanza, H. García, S. N. Martín, M. José, and R. Conde, "Factores implicados en el rendimiento académico de los alumnos universidad de Salamanca," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 17, no. 2, pp. 413–421, 1999.
- [45] M. Garcia-Diez, "The Effects of Curriculum Reform on Economics Education in A Spanish College," *Educ. Econ.*, vol. 8, no. 1, pp. 5–15, 2000.
- [46] P. Figuera, I. Dorio, and F. Àngel, "Las competencias académicas previas y el apoyo familiar en la transición a la universidad," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 21, no. 2, pp. 349–369, 2003.
- [47] M. E.-L. y S. S.-C. José-Vicente Tomás-Miquel, "Determinantes del rendimiento académico en los estudiantes de grado. Un estudio en administración y dirección de empresas.," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 32, no. 2, pp. 379–392, 2014.
- [48] E. Muñoz and J. Gómez, "Enfoques de Aprendizaje y Rendimiento Académico de los Estudiantes Universitarios," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 23, no. 2, pp. 417–432, 2005.
- [49] E. Belvis, M. V. Moreno, and F. Ferrer, "Los factores explicativos del éxito y fracaso académico en las universidades españolas, en los años del cambio hacia la convergencia europea," *Rev. Española Educ. Comp.*, vol. 15, no. 2009, pp. 61–92, 2009.
- [50] M. V. García Jiménez, J. M. A. Izquierdo, and A. Jiménez Blanco, "La predicción del rendimiento académico: Regresión lineal versus regresión logística," *Psicothema*, vol. 12, no. 2, pp. 248–252, 2000.
- [51] J. Heredia, A. Rodríguez, and J. Vilalta, "Predicción del rendimiento en una asignatura empleando la regresión logística ordinal," *Estud. Pedagógicos*, vol. XL, no. 1, pp. 145–162, 2014.
- [52] L. Cohen, L. Manion, and K. Morrison, *Research methods in education*. Oxon: Routledge, 2007.

- [53] N. Delavari, S. Phon-amnuaisuk, and M. Beikzadeh, "Data Mining Application in Higher Learning Institutions," *Informatics Educ.*, vol. 7, no. 1, pp. 31–54, 2008.
- [54] S. Palmer, "Modelling Engineering Student Academic Performance Using Academic Analytics *," *Int. J. Eng. Educ.*, vol. 29, no. 1, pp. 132–138, 2013.
- [55] F. Díaz, "La predicción del rendimiento académico en la Universidad," *Enseñanza Teach.*, vol. 13, pp. 43–61, 1995.
- [56] J. Maree, A. Pretorius, and R. Eiselen, "Predicting success among first-year engineering students at the Rand Afrikaans University," *Psychol. Rep.*, vol. 93, no. 2, pp. 399–409, 2003.
- [57] D. Dancer and D. Fiebig, "Modelling Students at Risk," *Aust. Econ. Pap.*, vol. 43, no. 2, pp. 158–173, 2004.
- [58] "Modelos de predicción del rendimiento académico en matemáticas en la Universidad Tecnológica de Pereira," *Sci. Tech.*, vol. 43, pp. 258–263, 2009.
- [59] S. Huang and N. Fang, "Predicting student academic performance in an engineering dynamics course: A comparison of four types of predictive mathematical models," *Comput. Educ.*, vol. 61, no. 1, pp. 133–145, 2013.
- [60] A. Zusho, P. Pintrich, and B. Coppola, "Skill and will: The role of motivation and cognition in the learning of college chemistry," *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 25, no. 9, pp. 1081–1094, 2003.
- [61] J. Vivo, M. Sánchez de la Vega, and M. Franco, "Estudio del rendimiento académico universitario basado en curvas ROC," *Rev. Investig. Educ.*, vol. 22, no. 2, pp. 327–340, 2004.
- [62] G. Prieto and A. D. Velasco, "Predicting academic success of engineering students in technical drawing from working memory," *J. Geom. Graph.*, vol. 16, no. 1, pp. 111–120, 2012.
- [63] S. Vázquez, M. Noriega, and S. Maris, "Relaciones entre rendimiento académico, competencia espacial, estilos de aprendizaje y deserción," *Rev. Electrónica Investig. Educ.*, vol. 15, pp. 29–44, 2013.
- [64] S. Vázquez, M. Noriega, and S. Maris, "Razonamiento espacial y rendimiento académico," *Interdisciplinaria*, vol. vol. 28, no. 1, pp. 145–158, 2011.
- [65] J. Saorín, R. Navarro, J. Martín, and M. Contero, "La capacidad espacial y su relación con la Ingeniería," *Dyna*, vol. 84, pp. 721–732, 2009.
- [66] A. Campos, M. González, and M. Pérez-Fabello, "Características de la imagen mental y rendimiento académico," *Rev. Galego Port. Psicol. y Educ.*, vol. 7, pp. 149–154, 2001.

- [67] C. Romero and S. Ventura, *Handbook of Educational Data Mining*. New York: Taylor & Francis, 2010.
- [68] S. K. Mohamad and Z. Tasir, "Educational Data Mining: A Review," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 97, pp. 320–324, 2013.
- [69] C. Romero and S. Ventura, "Educational Data Mining: A Review of the State of the Art," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part C (Applications Rev.)*, vol. 40, no. 6, pp. 601–618, 2010.
- [70] C. Romero and S. Ventura, "Educational data mining: A survey from 1995 to 2005," *Expert Syst. Appl.*, vol. 33, no. 1, pp. 135–146, 2007.
- [71] R. S. Baker and T. College, "Educational Data Mining : An Advance for Intelligent Systems in Education," *IEEE Intell. Syst.*, 2014.
- [72] R. S. J. D. Baker and K. Yacef, "The state of educational data mining in 2009: A review and future visions," *J. Educ. Data Min.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–17, 2009.
- [73] S. Romero Morales, Cristóbal; Márquez Vera, Carlos; Ventura Soto, "Predicción del Fracaso Escolar Mediante Técnicas de Minería de Datos," *IEEE-Rita*, vol. 7, no. 3, pp. 109–117, 2012.
- [74] H. Wilhelmiina, "Comparison of machine learning methods for intelligent tutoring systems," *ITS'06 Proc. 8th Int. Conf. Intell. Tutoring Syst.*, pp. 525–534, 2006.
- [75] N. T. N. Hien and P. Haddawy, "A decision support system for evaluating international student applications," *Proc. - Front. Educ. Conf. FIE*, pp. 1–6, 2007.
- [76] D. Ibrahim, Zaidah, Rusli, "Predicting Students' Academic Performance: Comparing Artificial Neural Network, Decision tree And Linear Regression," *Proc. 21st Annu. SAS Malaysia Forum*, no. September, pp. 1–6, 2007.
- [77] B. Minaei-Bidgoli, D. a. Kashy, G. Kortemeyer, and W. F. Punch, "Predicting student performance: an application of data mining methods with an educational web-based system," *33rd Annu. Front. Educ. 2003. FIE 2003.*, vol. 1, pp. T2A_13–T2A_18, 2003.
- [78] R. Shaun, J. De Baker, and J. E. B. Eds, "Educational Data Mining 2008 The 1 st International Conference on Educational Data Mining," *Network*, p. 187, 2008.
- [79] R. Alkhasawneh and R. Hobson, "Modeling student retention in science and engineering disciplines using neural networks," *2011 IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON 2011*, pp. 660–663, 2011.
- [80] M. Jadrić, "Student dropout analysis with application of data mining methods," *Management*, pp. 31–46, 2010.

- [81] J. J. J. Lin and K. J. Reid, "Student Retention Modelling : An Evaluation of Different Methods and their Impact on Prediction Results," *Eng. Educ.*, pp. 1–6, 2009.
- [82] Harwati, A. P. Alfiani, and F. A. Wulandari, "Mapping Student's Performance Based on Data Mining Approach (A Case Study)," *Agric. Agric. Sci. Procedia*, vol. 3, pp. 173–177, 2015.
- [83] S. Herzog, "Estimating student retention and degree-completion time: Decision trees and neural networks vis-à-vis regression," *New Dir. Institutional Res.*, vol. 2006, no. 131, pp. 17–33, 2006.
- [84] Q. Jin and W. Lafayette, "A Multi-Outcome Hybrid Model for Predicting Student Success in Engineering," *2011 Annual Conference & Exposition*. Vancouver, 2011.
- [85] C. Romero, A. Zafra, E. Gibaja, M. Luque, and S. Ventura, "Predicción del rendimiento académico en las nuevas titulaciones de grado de la EPS de la Universidad de Córdoba." *Actas Simposio JENUI-2012*, Ciudad Real, pp. 57–64, 2012.
- [86] D. Raju and R. Schumacker, "EXPLORING STUDENT CHARACTERISTICS OF RETENTION THAT LEAD TO GRADUATION IN," *J. Coll. Student Retent. Res. Theory Pract.*, vol. 16, no. 4, pp. 563–591, 2015.
- [87] J. -P. Vandamme, N. Meskens, and J. -F. Superby, "Predicting Academic Performance by Data Mining Methods," *Educ. Econ.*, vol. 15, no. 4, pp. 405–419, 2007.
- [88] G. M. Kanakana and A. O. Olanrewaju, "Predicting student performance in engineering education using an artificial neural network at Tshwane University of Technology," *Africa. ISEM 2011 Proceedings Stellenbosch*, South Africa, Stellenbosch, South Africa, pp. 1–17, 2011.
- [89] *Resolución la Universidad de A Coruña por la que se publica el acuerdo del Consejo de Universidades, por el que se homologan los planes de estudios conducente a los títulos oficiales de Ingeniero Técnico Industrial, especialidades en Electricidad y en Ele.* 1998, pp. 22695–22702. BOE N° 161.
- [90] *Ley Orgánica 1/1990, de Ordenación General del Sistema Educativo.* 1990, pp. 28927–28942. BOE N° 238.
- [91] *Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal.* 1999, pp. 43088–43099. BOE N° 298.
- [92] R. C. B. Alzina, *Metodología de la investigación educativa*. Madrid: Editorial La Muralla, 2004.

- [93] R. R. Soriano, *Guía para realizar investigaciones sociales*. Méjico: Plaza y Valdes, 2006.
- [94] S. G. de Universidades, "Guía para la declaracion de Nota Media de Estudios en España." Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, 2009.
- [95] F. Marqués, *Estadística descriptiva a través de Excel*. Madrid: RC Libros, 2009.
- [96] R. Villafranca and L. Zúñiga, *Métodos estadísticos para Ingenieros*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013.
- [97] M. D. Benitez, J. L. Iranzo, F. Isla, and M. D. Sarrion, *Estadística descriptiva*. Madrid: McGraw-Hill, 2013.
- [98] S. Fernández, J. M. Sánchez, A. Córdoba, J. M. Cordero, and A. Largo, *Estadística descriptiva*. Madrid: ESIC Editorial, 2002.
- [99] J. M. Lorenzo, *Estadística descriptiva*. Madrid: Editorial Paraninfo, 2007.
- [100] M. Martínez, R. Ruíz, and E. Vallada, *Introducción a la Estadística*, Valencia. Ed. Univ. Politéc. Valencia, 2010.
- [101] Q. Martín, M. T. Cabero, and Y. Del Rosario, *Tratamiento estadístico de datos con SPSS*. Madrid: Editorial Paraninfo, 2007.
- [102] M. J. Evans and J. S. Rosenthal, *Probabilidad y estadística*. Barcelona: Reverte, 2005.
- [103] M. T. González and A. Pérez de Vargas, *Estadística Aplicada*. A Coruña: Díaz de Santos, 2009.
- [104] S. A. Díaz-Parreño, J. M. Cárdenas, A. Romero, and A. Sánchez, *Bioestadística Aplicada con SPSS*. Madrid: CEU Ediciones, 2014.
- [105] R. D. de la Torre, *Probabilidad y estadística para ciencias e ingenierías*. Madrid: Delta Publicaciones, 2007.
- [106] C. P. López, *Minería de datos: técnicas y herramientas*. Madrid: Editorial Paraninfo, 2007.
- [107] L. Salafranca, V. Sierra, M. I. Núñez, A. Solanas, and D. Leiva, *Análisis estadístico mediante aplicaciones informáticas: SPSS, Stratgraphics, Minitab y Excel*. Barcelona: Edicions Universitat Barcelona, 2005.
- [108] E. B. Morell and E. Bernal, *Bioestadística Básica para Investigadores con SPSS*. Madrid: Bubok Publishing, 2013.

- [109] D. Martínez-Rego, O. Fontenla-Romero, and A. Alonso-Betanzos, "Efficiency of local models ensembles for time series prediction," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 6, pp. 6884–6894, Jun. 2011.
- [110] J. L. Casteleiro-Roca, J. L. Calvo-Rolle, M. C. Meizoso-López, A. J. Piñón-Pazos, and B. A. Rodríguez-Gómez, "Bio-inspired model of ground temperature behavior on the horizontal geothermal exchanger of an installation based on a heat pump," *Neurocomputing*, vol. 150, pp. 90–98, Feb. 2015.
- [111] R. a. Jacobs, M. I. Jordan, S. J. Nowlan, and G. E. Hinton, "Adaptive Mixtures of Local Experts," *Neural Comput.*, vol. 3, pp. 79–87, 1991.
- [112] M. I. Jordan and R. a. Jacobs, "Hierarchical mixtures of experts and the EM algorithm," *Proc. 1993 Int. Conf. Neural Networks (IJCNN-93-Nagoya, Japan)*, vol. 2, 1993.
- [113] M. I. A. Galipienso, M. A. C. Quevedo, O. C. Pardo, F. E. Ruiz, and M. A. L. Ortega, *Inteligencia artificial. Modelos, técnicas y áreas de aplicación*. Madrid: Editorial Paraninfo, 2003.
- [114] J. R. H. González and V. J. M. Hernando, *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*. Madrid: RA-MA, 2000.
- [115] A. J. Maren, C. T. Harston, and R. M. Pap, *Handbook of Neural Computing Applications*. San Diego: Elsevier Science, 2014.
- [116] J. M. Corchado, F. Díaz, L. Borrajo, and F. Fernández, *Redes Neuronales Artificiales*. Vigo: S. P. Univ. de Vigo, 2000.
- [117] B. M. del Brío and A. S. Molina, *Redes neuronales y sistemas borrosos*. Madrid: Ra-Ma, 2006.
- [118] P. I. Viñuela and I. M. G. León, *Redes de neuronas artificiales: un enfoque práctico*. Madrid: Pearson Educación - Prentice Hall, 2004.
- [119] R. F. López and J. M. F. Fernández, *Las Redes Neuronales Artificiales*. A Coruña: Netbiblo, 2008.
- [120] S. S. Haykin, *Neural networks: a comprehensive foundation*. New York: Macmillan, 1999.
- [121] G. P. Martinsanz and J. M. D. L. C. Garcia, *Aprendizaje Automático*. Madrid: RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones, 2010.
- [122] D. O. Hebb, *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. Mahwah: Psychology Press, 2005.
- [123] K. Gurney, *An Introduction to Neural Networks*. CRC Press, 2003.

- [124] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, *Learning Internal Representations by Error Propagation*. Institute for Cognitive Science, University of California, San Diego, 1985.
- [125] K. Hornik, M. Stinchcombe, and H. White, "Multilayer feedforward networks are universal approximators," *Neural Networks*, vol. 2, pp. 359–366, 1989.
- [126] G. Cybenko, "Approximation by superposition of a sigmoidal function," *Math. Control. Signals Syst.*, vol. 2, pp. 303–314, 1989.
- [127] J. D. M. Guerrero, D. A. García, E. S. Olivas, and A. J. S. López, *Análisis de datos Experimentales*. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2007.
- [128] C. Zambrano, D. Rojas, K. Carvajal, and G. Acuña, "Analysis of students academic performance using data warehouse and neural networks," *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 19, pp. 369–381, 2011.
- [129] M. A. Pinninghoff, P. Salcedo, and R. Contreras, "Neural Networks to Predict Schooling Failure/Suces," *Lect. Notes Comput. Sci.*, vol. 4528, pp. 571–579, 2007.
- [130] E. J. Harman, J. D. Keeler, and J. M. Kowalski, "Layered Neural Networks with Gaussian Hidden Units as Universal Approximators," *Neural Comput.*, vol. 2, pp. 210–215, 1990.
- [131] K. Funahashi, "On the Approximate Realization of Continuous Mappings by Neural Networks," *Neural Networks*, vol. 2, pp. 183–192, 1989.
- [132] B. E. Boser, I. M. Guyon, and V. N. Vapnik, "A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers," *Proc. 5th Annu. ACM Work. Comput. Learn. Theory*, pp. 144–152, 1992.
- [133] N. Cristianini and J. Shawe-Taylor, *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [134] V. Cortes, C. Vapnik, "Support Vector Networks," *Mach. Learn.*, vol. 20, pp. 273–297, 1995.
- [135] J. H. Orallo, M. J. R. Quintana, and C. F. Ramírez, *Introducción a la minería de datos*. Madrid: Editorial Alhambra S. A. (SP), 2004.
- [136] H. Drucker, C. J. C. Burges, L. Kaufman, A. Smola, and V. Vapnik, "Support vector regression machines," *Adv. Neural Inf. Process. Systems*, no. x, pp. 155–161, 1997.
- [137] B. Sierra, *Aprendizaje automático: conceptos básicos y avanzados*. Madrid: Pearson Educación - Prentice Hall, 2006.

- [138] R. Fletcher, *Practical Methods of Optimization*. New York: John Wiley & Sons, 2013.
- [139] B. Schölkopf, C. J. C. Burges, and A. J. Smola, *Advances in Kernel Methods: Support Vector Learning*. Cambridge: MIT Press, 1999.
- [140] D. Peña, *Regresión y diseño de experimentos*. Madrid: Alianza Editorial, 2010.
- [141] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Métodos numéricos para ingenieros*. México D.F.: McGraw-Hill, 2007.
- [142] R. M. Heiberger and E. Neuwirth, *R Through Excel: A Spreadsheet Interface for Statistics, Data Analysis, and Graphics*. New York: Springer Science & Business Media, 2010.
- [143] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México D.F.: Limusa Wiley, 2012.
- [144] J. Lara, *Minería de datos*. Madrid: Ediciones CEF, 2014.
- [145] J. Moody and C. J. Darken, "Fast Learning in Networks of Locally-Tuned Processing Units," *Neural Comput.*, vol. 1, pp. 281–294, 1989.
- [146] J. B. MacQueen, "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations," *Proc. Symp. Math. Stat. Probab.*, vol. 233, no. 233, pp. 281–297, 1967.
- [147] R. Kohavi, "A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection," *Int. Jt. Conf. Artif. Intell.*, vol. 14, pp. 1137–1143, 1995.
- [148] A. A. Freitas, *Data Mining and Knowledge Discovery with Evolutionary Algorithms*. Berlin: Springer Science & Business Media, 2002.
- [149] T. G. Dietterich, "Approximate Statistical Tests for Comparing Supervised Classification Learning Algorithms," *Neural Comput.*, vol. 10, pp. 1895–1923, 1998.
- [150] J. H. Mathews and K. D. Fink, *Métodos numéricos con MATLAB*. Madrid: Pearson Educación, 2000.
- [151] H. Quintián, J. L. Calvo, and E. Corchado, "A Hybrid Regression System Based on Local Models for Solar Energy Prediction," *Informatica*, vol. 25, no. 2, pp. 265–282, 2014.
- [152] *Real Decreto 69/2000, por el que se regulan los procedimientos de selección para el ingreso en los centros universitarios de los estudiantes que reúnan los requisitos legales necesarios para el acceso a la universidad*. 2000, pp. 20980–2987. BOE N° 19.

[153] *Real Decreto 1497/1987, por el que se establecen directrices generales comunes de los planes de estudio de los títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional.* 1987, pp. 36639–36643. BOE N° 298.