

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura



**Modelo de cadena de suministro inteligente para la mejora
de la gestión logística del Servicio Educativo Hogar y
Salud del Norte, Lima, 2020**

Tesis para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería de Sistemas

Autor:

Denis Christian Ovalle Paulino

Asesor:

Dr. Joel Martín Visurraga Agüero


Lima, agosto 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Joel Visurraga Agüero, asesor de la Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Posgrado de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:


Que la presente investigación titulada: "Modelo de cadena de suministro inteligente para la mejora de la gestión logística del Servicio Educativo Hogar y Salud del Norte, Lima, 2020" del autor Christian Ovalle Paulino tiene un índice de similitud de 9% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 29 días del mes de junio del año 2024.



Dr. Joel Visurraga Agüero

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE DOCTOR 0151

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 15 días del mes de agosto, del año 2020, siendo las 9:00 a. m. se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, bajo la dirección del Señor Presidente del Jurado: Dra. Damaris Duran Quintana y los demás miembros siguientes: Dr. Sr. Esteban Tocto Cano como Secretario; Dr. Juan Luis León Quijote, Ph.D. Javier Linckel Lopez Gonzales, Dr. Guillermo Sotomayor, et para y Dr. Abel Martín Villanueva Espinoza, con el propósito de llevar a cabo el acto publico de la sustentación de tesis de posgrado titulada: Modelo de Cadena de Suministro Inteligente para la mejora de la gestión logística del Servicio Educativo Hogar y Salud Lima 2020. del Magister: DENIS CHRISTIAN OVALLE PAULINO conducente a la obtención del Grado Académico de Doctor en: Ingeniería de Sistemas. El Presidente del Jurado dio por iniciado el acto invitando al candidato a hacer uso del tiempo señalado por el Jurado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente del Jurado invito a los demás miembros del mismo a realizar las preguntas, cuestionamientos y aclaraciones pertinentes que fueron absueltas por el candidato, el acto fue seguido de un receso de quince minutos para las deliberaciones y el dictamen del Jurado. Vencido el tiempo de las deliberaciones, el Jurado procedió a dejar constancia escrita del resultado en la presente acta, con el dictamen siguiente: Aprobado por Unanimitad con el mérito académico adicional de abrumante. El Presidente del Jurado solicito al candidato ponerse de pie y procedió a poner en su conocimiento el resultado, terminado el mismo y sin objeción alguna, el Presidente del jurado dio por concluido el acto, en fe de lo cual firman al pie.

.....
Presidente

Secretario

.....
Miembro
Miembro

.....
Miembro
Miembro

.....
Candidato

La sustentación fue realizada de manera virtual

DEDICATORIA

El trabajo está dedicado íntegramente a Dios, a mi familia y a todas las personas que, de alguna forma, aportaron a mi desarrollo académico y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Peruana Unión por brindarme todo el soporte en el desarrollo profesional y en la administración del desarrollo del doctorado.

A mi asesor el doctor Joel Visurraga Agüero que gracias a su dirección pude resolver diferentes aspectos metodológicos y temáticos de la investigación.

Al Servicio Educacional Hogar y Salud del Norte por brindarme las facilidades en relación con la información del área logística y comercial.

A mis amigos que me apoyaron siempre con sus deseos y ánimos en momentos difíciles a todos ellos mi gratitud por siempre.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE ANEXOS	xv
SIMBOLOS USADOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1 Descripción de la realidad problemática	22
1.2 Justificación	28
1.2.1 Justificación teórica	28
1.2.2 Justificación metodológica	28
1.2.3 Justificación filosófica	29
1.2.4 Justificación social	30
1.3 Formulación del problema	30
1.3.1 Problema general	30
1.4 Objetivos	31
1.5 Hipótesis	32
1.6 Presuposición Filosófica	33
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	34
2.1. Revisión de la Literatura	34
2.1.1 Gestión de la cadena de suministro	34
2.1.2. Cadena de suministro en la industria 4.0	39
2.1.3. La Inteligencia Artificial en la Gestión Logística	45
2.2. Bases Teóricas	53
2.2.2. Inteligencia Artificial	53
2.2.2.1. Origen de la Inteligencia Artificial	54
2.2.2.2. Importancia de la Inteligencia Artificial	57
2.2.2.3. Ventajas de la Inteligencia Artificial	58
2.2.2.4. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial	59
2.2.2.5. Ramas de la Inteligencia Artificial	67
2.2.2. Machine Learning	67

2.2.2.1	Aprendizaje Automático Supervisado	69
2.2.2.2	Aprendizaje Automático No Supervisado	75
2.2.3.	Técnica / Algoritmo de Deep Learning	82
2.2.4.	Métricas de Rendimiento del Algoritmo.....	83
2.2.5.	Computer Vision.....	87
2.2.6.	Minería de Datos.....	88
2.2.7.1.	Metodologías de Minería de Datos.....	89
2.2.8.	Cadena de Suministro Inteligente	93
2.2.8.1.	Logística 4.0	99
2.2.9.	Gestión Logística	100
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		104
3.1.	Tipo y nivel de investigación	104
3.2.	Diseño de investigación.....	105
3.3.	Etapas de la investigación	106
3.4.	Definición conceptual.....	107
3.4.1.	Modelo de cadena de suministro inteligente.....	107
3.4.2.	Gestión logística	107
3.5.	Lugar de ejecución y centro de aplicación	108
3.6.	Población, muestra y muestreo	109
	Muestra	109
3.1.	Técnica e instrumento de recolección de datos.....	111
	Técnica.....	111
3.2.	Validación	112
3.3.	Procedimientos	114
3.4.	Método de análisis de datos	115
3.5.	Metodología de la implementación	116
3.6.	Modelos y técnicas de machine learning.....	117
3.7.	Validación del rendimiento de los algoritmos de machine learning	120
3.8.	Ética.....	120
CAPÍTULO IV. PROPUESTA DE INGENIERÍA		121
4.1.	Introducción.....	121
4.3.	Diseño del modelo de cadena de suministro inteligente.....	123
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		182
5.1.	Resultados	182
5.2.	Discusión.....	200
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		203

6.1. Conclusiones	203
6.2. Recomendaciones	205
REFERENCIAS	207
ANEXOS	217

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Principales aplicaciones de la Inteligencia Artificial. Adaptada de [46].	54
Fig. 2. Modelo propuesto. De [53]	63
Fig. 3. Resultados de la evaluación del rendimiento del método propuesto. De [54].	64
Fig. 4. Frecuencia del uso de algoritmos en investigación de cadena de suministros.	75
Fig. 5. Red Neuronal con etapas ocultas de procesamiento	80
Fig. 6. Curva ROC	86
Fig. 7. Aplicaciones de la minería de datos	89
Fig. 8. Cadena de Suministro actual del Servicio Educativo Hogar y Salud del Norte	94
Fig. 9. Esquema de la Cadena de Suministro Inteligente.	97
Fig. 10. Desafíos de la Cadena de Suministro	97
Fig. 11. Nuevas Tecnologías en el proceso de logística	97
Fig. 12. Figura del diseño de investigación.	106
Fig. 13. Diagrama de etapas del proceso de la metodología de investigación científica.	107
Fig. 14. Metodología Ensemble Stacking. Tomada de [112].	117
Fig. 15. Diagrama del diseño del modelo de cadena de suministro inteligente con ensemble Stacking.	124
Fig. 16. Proceso actual de abastecimiento de la Institución Servicio Educativo Hogar y Salud del Norte.	125
Fig. 17. Proceso actual de inventario de la Institución Servicio Educativo Hogar y Salud del Norte.	126
Fig. 18. Proceso actual de distribución de la Institución Servicio Educativo Hogar y Salud del Norte.	127
Fig. 19. Código de la preparación de la data. Indicador 1 (Abastecimiento)	131
Fig. 20. Distribución de abastecimiento de productos por campo. (a) mensual, (b) diaria	132
Fig. 21. Código de configuración del modelo de stacking – Indicador 1 (Abastecimiento)	133

Fig. 22. Código de configuración del modelo de stacking – Indicador 1 (Abastecimiento).....	133
Fig. 23. Código para optimizar los hiperparámetros – Indicador 1 (Abastecimiento).....	134
Fig. 24. Modelo de Stacking- Indicador 1 (Abastecimiento).....	135
Fig. 25. Resultados de las métricas. (a) MSE, (b) R ² , (c) MAE, (d) RMSE y (e) Meta- Modelo.....	137
Fig. 26. Predicción indicador 1 (Abastecimiento). (a) Ensemble stacking vs Valores reales, (b)Valores reales vs Predicciones del ensemble.....	137
Fig. 27. Predicción por año de la demanda de materiales por sede. (a) campo SEHS ANOP, (b) campo MNO, (c) campo SEHS APCE, (d) campo SEHS MPN, (e) campo SEHS MICOP y (f) campo SEHS-CENTRAL.....	138
Fig. 28. Código de preparación de la data – Indicador 2 (Abastecimiento).....	139
Fig. 29. Distribución de la demanda de material por campo. (a) mensual, (b) diaria.	140
Fig. 30. Código para configuración del modelo de stacking – Indicador 2 (Abastecimiento).....	141
Fig. 31. Entrenamiento del modelo base – Indicador 2 (Abastecimiento).	141
Fig. 32. Optimización de los hiperparámetros – indicador 2 (Abastecimiento).	142
Fig. 33. Formación del stack – Indicador 2 (Abastecimiento).	143
Fig. 34. Resultados de las meticas. (a) MSE, (b) R ² , (c) MAE, (d)RMSE y (e) Meta-modelo – indicador 2 (Abastecimiento).....	144
Fig. 35. Predicción del indicador 2 (Abastecimiento). (a) Ensemble stacking vs Valores reales, (b)Valores reales vs Predicciones del ensemble.....	145
Fig. 36. Predicción de la rentabilidad de la demanda de material adquirido por sede 2016 – 2025. (a) campo SEHS ANOP, (b) campo MNO, (c) campo SEHS APCE, (d) campo SEHS MPN, (e) campo SEHS MICOP y (f) campo SEHS- CENTRAL	146
Fig. 37. Código de preparación de la data – Indicador 3 (Abastecimiento).....	147
Fig. 38. Ingresos por ventas de cada campo. (a) mensual, (b) diario.	148
Fig. 39. Código para configuración del modelo de stacking – Indicador 3 (Abastecimiento).....	148

Fig. 40. Entrenamiento del modelo base – Indicador 3 (Abastecimiento).	149
Fig. 41. Optimización de los hiperparámetros – indicador 3 (Abastecimiento).	150
Fig. 42. Formación del stack – Indicador 3 (Abastecimiento).	150
Fig. 43. Resultados de las meticas. (a) MSE, (b) R ² , (c) MAE, (d)RMSE y (e) Meta-modelo – indicador 3 (Abastecimiento).....	152
Fig. 44. Predicción del indicador 3 (Abastecimiento). (a) Ensemble stacking vs Valores reales, (b)Valores reales vs Predicciones del ensemble	153
Fig. 45. Comparación real vs Predicho de cada campo. (a) SEHS ANOP, (b) SEHS APCE, (c) SEHS MICOP, (d) SEHS MNO, (e) SEHS MPN, (f) SEHS- CENTRAL.	154
Fig. 46. Código de preparación de datos – Indicador 1 (Inventario).....	155
Fig. 47. Gráfico del entrenamiento del modelo - Indicador 1 (Inventario).....	156
Fig. 48. Código para optimizar hiperparámetros - Indicador 1 (Inventario).	157
Fig. 49. Formación del stack - Indicador 1 (Inventario).....	157
Fig. 50. Métricas de evaluación del modelo- Indicador 1 (Inventario).....	159
Fig. 51. Predicción de la cantidad total de material inventariados mensualmente por categoría. (a) mensual y (b) diaria.	160
Fig. 52. Fecha y cantidad predicha – Predicción indicador 1 (Inventario)	161
Fig. 53. Comparación de predicción vs Valores reales. (a) SEHS ANOP, (b) SEHS APCE, (c) SEHS MICOP, (d) SEHS MNO, (e) SEHS MPN, (f) SEHS- CENTRAL.	162
Fig. 54. Distribución de productos inventariados por categoría. (a) mensual, (b) diaria	163
Fig. 55. Código de configuración del modelo – Indicador 2 (Inventario).....	164
Fig. 56. Modelo stacking - Indicador 2 (Inventario).....	164
Fig. 57. Modelo Gradient Boosting. (a) impacto de n_estimators, (b) impacto de max_depth y (c) impacto de learning_rate.....	165
Fig. 58. Random Forest. (a) impacto de n_estimators, (b) impacto de max_depth.	165
Fig. 59. Formación del stack – Indicador 2 (Inventario).....	166

Fig. 60. Métricas indicador 2 (Inventario). (a) MSE por modelo, (b) R2 por modelo, (c) MAE por modelo, (d) RMSE por modelo y (e) Meta – modelo.....	167
Fig. 61. Valores reales vs Predichos – Indicador 2 (Inventario). (a) Dispersión y (b) Líneas.	168
Fig. 62. Datos originales y predicciones 2024 – Indicador 2 (Inventario).	169
Fig. 63. Datos originales y predicciones por cada año por categoría (a) biblias, (b) denominacional, (c) educases, (d) himnario, (e) libros de actividades, (f) ministerio joven, (g) tarjetas y marcadores, (h) títulos varios.	170
Fig. 64. Promedio de productos distribuidos por categoría. (a) mensual, (b) diario	171
Fig. 65. Código de selección del modelo – Indicador 1 (Distribución).....	172
Fig. 66. Entrenamiento de los modelos base- Indicador 1 (Distribución).	172
Fig. 67. Formación del stacking – Indicador 1 (Distribución).	173
Fig. 68. Métricas indicador 1 (Distribución). (a) MSE por modelo, (b) R2 por modelo, (c) MAE por modelo, (d) RMSE por modelo y (e) Meta – modelo.....	175
Fig. 69. Valores reales vs Predichos. (a) Dispersión, (b) Líneas.	176
Fig. 70. Real vs predichos. (a) Biblias, (b) Denominacional, (c) Educases, (d) Himnario, (e) Libro de actividades, (f) Ministerio joven, (g) Tarjetas y marcadores y (h) títulos varios.	177
Fig. 71. Interfaz de la página principal del sistema inteligente.	178
Fig. 72. Interfaz de la sección Abastecimiento del sistema inteligente.	179
Fig. 73. Interfaz de la sección Inventario del sistema inteligente.	179
Fig. 74. Interfaz de la sección Distribución del sistema inteligente.....	180
Fig. 75. Comparación del Pre test y Post test del abastecimiento de materiales.	183
Fig. 76. Pre test y Post test - Abastecimiento. a) Indicador 1, b) Indicador 2 y c) Indicador 3.	185
Fig. 77. Comparación del Pre test y Post test del inventario de materiales	186
Fig. 78. Pre test y Post test Inventario. a) Indicador 1, b) Indicador 2.....	188
Fig. 79. Comparación del Pre test y Post test de la dimensión Distribución de materiales.....	189

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación entre los aspectos claves de la cadena de suministro y la industria 4.0	41
Tabla 2 Áreas claves y su impacto en la implementación de la industria 4.0 ...	43
Tabla 3 La inteligencia artificial y el machine learning en la cadena de suministro	49
Tabla 4 Etapas importantes en el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA)....	56
Tabla 5 Destacados ejemplos de aplicación de IA	60
Tabla 6 Implementación de la inteligencia artificial en diversas áreas	61
Tabla 7 Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro ..	65
Tabla 8 Comparación de algoritmos de regresión	72
Tabla 9 Características de las redes neuronales	79
Tabla 10 Matriz de confusión	84
Tabla 11 Comparación de metodologías de minería de datos	90
Tabla 12 Indicadores y fórmulas para cada dimensión.....	108
Tabla 13 Muestra.....	110
Tabla 14 Validación del instrumento de recolección de datos.....	112
Tabla 15 Validación Aiken	114
Tabla 16 Modelos de machine learning utilizados para la gestión logística....	119
Tabla 17 Composición de los modelos de Staking.....	128
Tabla 18 Métricas para medir los algoritmos de machine learning.....	129
Tabla 19 Métricas de evaluación - Indicador 1 (Abastecimiento).....	136
Tabla 20 Métricas de evaluación del modelo- Indicador 2 (Abastecimiento) .	143
Tabla 21 Métricas de evaluación del modelo- Indicador 3 (Abastecimiento) ..	151
Tabla 22 Métricas de evaluación del modelo- Indicador 1 (Inventario).....	158
Tabla 23 Métricas de evaluación del modelo- Indicador 2 (Inventario).....	167
Tabla 24 Métricas de evaluación de los modelos - Indicador 1 (Distribución)	174
Tabla 25 <i>Medidas descriptivas de la dimensión Abastecimiento – Pretest y post test</i>	182
Tabla 26 Medidas descriptivas del indicador 1, 2 y 3 del Abastecimiento – Pretest y post test	184

Tabla 27. <i>Medidas descriptivas del inventario – Pretest y post test</i>	185
Tabla 28 <i>Medidas descriptivas del indicador 1 y 2 del Inventario – Pretest y post test</i>	187
Tabla 29 <i>Medidas descriptivas de la distribución – Pretest y post test</i>	188
Tabla 30 <i>Prueba de normalidad del abastecimiento – PreTest y PostTest</i>	190
Tabla 31. <i>Prueba de normalidad del inventario – PreTest y PostTest</i>	191
Tabla 32. <i>Prueba de normalidad de la distribución – PreTest y PostTest</i>	192
Tabla 33 <i>Prueba T-Student – Hipótesis general</i>	194
Tabla 34 <i>Prueba T-Student – Hipótesis específica 1</i>	195
Tabla 35 <i>Prueba de T-Student – Hipótesis específica 2</i>	196
Tabla 36 <i>Prueba de T-Student – Hipótesis específica 3</i>	197
Tabla 37 <i>Comparación de los resultados con investigaciones similares</i>	202

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	217
ANEXO 2 Matriz de operacionalización de variables	222
ANEXO 3 Matriz de datos	224
ANEXO 4 Carta de autorización de la empresa	225
Anexo 5 Instrumentos	226
Anexo 6 Validación de expertos	233
Anexo 7 Artículos elaborados	242

SIMBOLOS USADOS

Símbolos/Abreviaturas	Significado
SEHS – Norte	Servicio Educacional Hogar y Salud del Norte
ML	Machine Learning
IA	Inteligencia Artificial
KNN	K- Nearest Neighbors
RL	Regresión Logística
RF	Random Forest
MAE	Error Absoluto Medio
MSE	Error Cuadrático Medio
R2	Coefficiente de determinación
RMSE	Error Cuadrático Medio de la Raíz
IOT	Internet de las cosas
SEMMA	Sample, Explore, Modify, Model, Assess
KDD	Knowledge Discovery in Databases
ROC	Receiver Operating Characteristics
PNNN	Red Neuronal Probabilística
RNA	Redes Neuronales Artificiales

RESUMEN

La cadena de suministro ha experimentado una transición significativa, orientándose hacia esquemas más sofisticados y optimizados gracias a la incorporación de tecnologías emergentes. Este cambio está dejando atrás los modelos convencionales para dar paso a estructuras inteligentes que maximizan la eficiencia. En este contexto, la inteligencia artificial desempeña un papel clave, ya que permite procesar y examinar grandes volúmenes de información con rapidez y precisión y obtener predicciones significativas para tomar decisiones en la gestión logística. Este estudio propone un diseño de cadena de suministro inteligente siguiendo la metodología ensemble stacking para desarrollo tecnológico, a su vez, se utilizaron los algoritmos de machine learning como Gradient Boosting, CatBoost, Random Forest, Decision Tree, K-Nearest Neighbors, XGBoost y el Meta-modelo: Regresión Lineal. Luego de la optimización y aplicación de las métricas como MSE, R^2 , MAE, RMSE se obtuvo que los metamodelos sobresalieron con resultados notables alcanzando precisiones superiores al 90%. Asimismo, la presente la cadena de suministro inteligente mejora en un 53% la gestión logística del Servicio Educativo Hogar y Salud del Norte, Lima, 2020. Se concluye que esta propuesta no solo optimiza el rendimiento del modelo, sino que también asegura una mejor adaptación a las necesidades y objetivos particulares para la gestión logística.

Palabras clave: Cadena de Suministro, distribución, inventario, demanda, modelos Machine Learning