

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**
ESCUELA DE POSGRADO
**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE
MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**



**SERVICIO ECOSISTÉMICO Y VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL
DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO, 2021**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE
PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**

PRESENTADO POR

Kevin Alejandro Arias Campos

ASESOR

Dr. Efraín Elías Porras Flores

AYACUCHO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mis padres

A quienes con su esfuerzo siempre me han brindado lo mejor en la vida, les agradezco el haber sabido inculcar y cultivar los dones de la paciencia y perseverancia en mi persona.

Con el pasar de los años, me han inculcado que en esta vida lo que realmente perdura no es sencillo y yo podré alcanzarlo con esfuerzo y perseverancia en todas mis metas venideras.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes en la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil perteneciente a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ya que las enseñanzas y experiencias aprendidas en esta etapa de mi vida me sirvieron como una base sólida para poder formarme como una persona decente e íntegra.

A la escuela de Posgrado de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, mención en Gerencia de Proyectos y Medio Ambiente, a sus docentes y al personal administrativo por contribuir y ser parte de mi formación académica y profesional.

Al Doctor Efraín Elías Porras Flores, profesor principal de la escuela de Posgrado y asesor del presente trabajo de investigación, quien, de forma profesional e incondicional, supo transmitir sus enseñanzas para la culminación del mismo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
I. Capítulo I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. Problema General	16
1.2.2. Problemas Específicos	16
1.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	16
1.3.1. Antecedentes Internacionales	16
1.3.2. Antecedentes Nacionales	18
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Justificación de la Investigación.....	19
1.4.2. Importancia de la investigación	20
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. Alcances de la Investigación	20
1.5.2. Limitaciones de la Investigación	20
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.6.1. Objetivo General.....	21
1.6.2. Objetivos Específicos	21
1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.7.1. Hipótesis General	21
1.7.2. Hipótesis Específicas	22
II. Capítulo II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. MARCO CONCEPTUAL	23
2.1.1. SERVICIO ECOSISTÉMICO.....	23
2.1.1.1. Servicio ecosistémico de regulación.....	24
2.1.1.2. Servicio ecosistémico cultural	25

2.1.2.	VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL	26
2.1.2.1.	Medidas de bienestar con Variación Compensada (VC).....	29
2.1.2.2.	Medidas de bienestar con Variación Equivalente (VEq).....	33
2.2.	MARCO REFERENCIAL	37
2.2.1.	Redes Neuronales Artificiales	37
2.2.2.	Funciones de activación.....	40
2.2.3.	Algoritmo de Backpropagation	42
2.2.4.	Proceso de entrenamiento y validación	46
2.2.5.	Modelo del tipo Perceptrón Multicapa	47
2.2.6.	Valor económico ambiental de los servicios ecosistémicos.....	50
2.2.7.	Métodos de Valoración Económica Ambiental.....	51
2.2.8.	Método de Valoración Contingente (MVC).....	52
2.2.9.	Técnicas Estadísticas	59
2.3.	MARCO LEGAL	60
2.3.1.	Ley General del Ambiente.....	61
2.3.2.	Ley de Creación, Organización y Funciones del MINAM.....	61
2.3.3.	Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.....	61
2.3.4.	Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).....	61
2.3.5.	Política Nacional del Ambiente (PNA)	62
2.3.6.	Plan Nacional de Acción Ambiental - PLANAA PERÚ: 2011-2021	62
2.3.7.	Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural	62
III.	Capítulo III: MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	63
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	63
3.1.1.	Tipo de Investigación	63
3.1.2.	Nivel de Investigación	63
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.3.	VARIABLES.....	64
3.3.1.	Definición conceptual de variables.....	64
3.3.2.	Definición operacional de variables	65
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA	66
3.4.1.	Población	66
3.4.2.	Muestra	67
3.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	68
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	69

3.6.1.	Técnicas	69
3.6.2.	Instrumentos	69
3.6.3.	Confiabilidad del instrumento	70
3.6.4.	Validación del instrumento.....	70
3.7.	PROCEDIMIENTOS	71
3.7.1.	Estrategia de la Prueba de Hipótesis.....	71
3.7.2.	Técnicas para el Procesamiento de Datos.....	71
3.7.3.	Diseño Estadístico	72
3.7.4.	Técnicas de Análisis e Interpretación de los Datos	72
3.8.	DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS	73
3.8.1.	Cuestionario sobre la Valoración Económica Contingente	73
3.8.2.	Recolección de información e identificación de las variables de diseño	78
3.8.3.	Selección de la información y preprocesamiento	82
3.8.4.	Arquitectura de la red basada en la retro-propagación.....	83
3.8.5.	Fase de construcción para el modelo de RNA.....	84
3.8.6.	Fase de entrenamiento para el modelo de RNA	86
3.8.7.	Fase de prueba para el modelo de RNA	95
3.8.8.	RNA mediante el Toolbox de Matlab.....	98
3.8.9.	Modelo de Regresión Lineal Múltiple (RLM)	100
3.8.10.	Estimación de los parámetros	100
3.8.11.	Contrastación de hipótesis: t-Student	101
3.8.12.	Intervalos de confianza de los parámetros.....	103
3.8.13.	Análisis de la varianza: Tabla ANOVA	103
IV.	Capítulo IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	105
4.1.	HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS	105
4.1.1.	Contrastación de la Hipótesis General.....	105
4.1.1.1.	Prueba paramétrica de t-Student.....	105
4.1.1.2.	Análisis de la varianza mediante la tabla ANOVA	108
4.1.1.3.	Determinación de los coeficientes de correlación	110
4.1.2.	Primera Hipótesis Específica.....	110
4.1.2.1.	Prueba paramétrica de t-Student del servicio ecosistémico de regulación.....	111
4.1.2.2.	Análisis de la varianza del servicio ecosistémico de regulación	112
4.1.2.3.	Coefficientes de correlación del servicio ecosistémico de regulación.....	114
4.1.3.	Segunda Hipótesis Específica.....	114

4.1.3.1.	Prueba paramétrica de t-Student del servicio ecosistémico cultural	115
4.1.3.2.	Análisis de la varianza del servicio ecosistémico cultural.....	116
4.1.3.3.	Coefficientes de correlación del servicio ecosistémico cultural	117
4.2.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	118
4.2.1.	Software de redes neuronales artificiales en Matlab	118
4.2.2.	Análisis e interpretación de los resultados del modelo de RNA	119
4.2.3.	Análisis e interpretación de los resultados del modelo de RLM	124
4.2.4.	Intervalos de confianza para la varianza.....	132
4.2.5.	Discusión de resultados	133
V.	CONCLUSIONES	139
5.1.	CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN	139
5.2.	APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	141
VI.	RECOMENDACIONES	143
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
IX.	ANEXOS	151

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	14
Región de Ayacucho - Gasto Público Ambiental (millones de soles)	
Tabla 2	22
Tipos de Servicios Ecosistémicos	
Tabla 3	25
Utilidad de la valoración económica ambiental	
Tabla 4	51
Clasificación de los métodos de valoración ambiental de los servicios ecosistémicos	
Tabla 5	52
Ventajas y desventajas del Método de Valoración Contingente (MVC)	
Tabla 6	66
Delimitación de la población de estudio	
Tabla 7	74
Rango generado de valores umbrales (bid values) derivados de la encuesta piloto	
Tabla 8	78
Parámetros de entrada al modelo de Redes Neuronales Artificiales	
Tabla 9	80
Umbral de valores de salida para el modelo RNA	
Tabla 10	81
Propiedades estadísticas de las variables de entrada	
Tabla 11	86
Conjunto de datos para la etapa de entrenamiento	
Tabla 12	95
Conjunto de datos para la etapa de validación y prueba	
Tabla 13	103
Tabla ANOVA para el análisis de la varianza	
Tabla 14	105
Grado de influencia de las variables del modelo de RNA	
Tabla 15	106
Variables de entrada con influencia insignificante	
Tabla 16	106
Descripción de las variables de entrada con influencia insignificante	
Tabla 17	106
Prueba t de Student del servicio ecosistémico	
Tabla 18	108
Tabla ANOVA para el servicio ecosistémico	
Tabla 19	108
Tabla ANOVA del valor económico contingente del servicio ecosistémico	
Tabla 20	110
Influencia de las variables del servicio de regulación en el modelo de RNA	
Tabla 21	111
Prueba t de Student del servicio de regulación	
Tabla 22	112
Tabla ANOVA del valor económico contingente del servicio de regulación	

Tabla 23	Influencia de las variables del servicio cultural en el modelo de RNA	114
Tabla 24	Prueba t de Student del servicio cultural	115
Tabla 25	Tabla ANOVA del valor económico contingente del servicio cultural	116
Tabla 26	Valores resultantes del modelo de redes neuronales artificiales	120
Tabla 27	Fluctuación del valor de la Disposición a Pagar (DAP)	128

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	Medidas del bienestar Marshallinas y Hicksianas	27
Figura 2	Variación compensada del decremento del precio del servicio ecosistémico	31
Figura 3	Variación equivalente del decremento del precio del servicio ecosistémico	35
Figura 4	Componentes de una Red Neuronal Artificial	38
Figura 5	Tipos de capas de una Red Neuronal Artificial	39
Figura 6	Funciones de activación	40
Figura 7	Algoritmo de retro-propagación	44
Figura 8	Error en el conjunto de datos de entrenamiento y validación	46
Figura 9	Tipo de arquitectura basada en el perceptrón multicapa (MLP)	47
Figura 10	Valor Económico Total	49
Figura 11	Localización geográfica para la zona de investigación	65
Figura 12	Realización de la encuesta piloto en el mes de enero del año 2020	75
Figura 13	Realización de la encuesta final en el mes de mayo del año 2021	76
Figura 14	Algoritmo del programa <i>Contingent Valuation Method UNSCH</i>	84
Figura 15	Curva de aprendizaje del proceso de entrenamiento	94
Figura 16	Comparativa de los valores de Disposición a Pagar (DAP)	98
Figura 17	Prueba de hipótesis implementada en el modelo RNA	101
Figura 18	<i>Contingent Valuation Method UNSCH</i>	117
Figura 19	Modelo establecido de Regresión Lineal Múltiple	118
Figura 20	Comparativa del Coeficiente de correlación (R)	119
Figura 21	Limitación durante la generación de RLM en paquetes informáticos	126
Figura 22	Ecuación de regresión lineal múltiple implementada en el modelo RNA	127

RESUMEN

Dentro de las zonas urbanas, el deterioro de los servicios ecosistémicos viene a ser uno de los problemas ambientales cada vez más importantes, ya que encontrar una mejor calidad de vida para las personas expuestas se ha convertido en una prioridad para ellos. Para desarrollar una política pública enfocada en programas de mitigación ambiental, es necesario evaluar los impactos nocivos a evitar desde una perspectiva económica a través de la valoración económica ambiental. En este contexto, el servicio ecosistémico es definido como el beneficio aportado por un ecosistema hacia la sociedad, siendo que en zonas urbanas generalmente se estudian dos tipos de servicio ecosistémico: servicio ecosistémico de regulación y cultural. El propósito de esta investigación principalmente se enfoca en determinar la afectación sobre la valoración económica ambiental en el Centro Histórico de Ayacucho por parte de los servicios ecosistémicos de regulación y cultural. La metodología utilizada para el procesamiento de los datos se engloba dentro de la valoración contingente, en donde usualmente se hacía uso de modelos tradicionales relacionados a estimaciones econométricas que se restringe solamente a solucionar problemas del tipo lineal; es por ello que en este estudio se establecerá un modelo de redes neuronales artificiales, que no tiene esta restricción. Este modelo basado en inteligencia artificial tiene la versatilidad de resolver problemas no-lineales, lo que lo convierte en una poderosa herramienta de predicción del valor económico ambiental, ya que luego de analizar y procesar los datos, se obtuvieron resultados óptimos de la capacidad predictiva del modelo, siendo que se demostró la diferencia ínfima entre el valor predicho y el valor real. De igual forma, se determinó que las variables de ingreso influyen de forma directa en el valor económico ambiental. El valor económico ambiental se midió en función del término denominado Disposición a Pagar (DAP), en donde se calculó un valor de DAP para cada entrevistado de 40.73 soles (9.93 dólares) por persona por año en el Centro Histórico de Ayacucho en el año 2021. Se concluyó que el algoritmo de redes neuronales artificiales desarrollado en este estudio podría ser adaptado de forma sencilla en diversos ámbitos geográficos, así como en periodo de tiempo proyectado para poder tener actualizado este valor económico ambiental.

Palabras clave: Valoración económica ambiental, servicios ecosistémicos, modelos de inteligencia artificial, redes neuronales artificiales, disposición a pagar.

ABSTRACT

Within urban areas, the deterioration of ecosystem services becomes one of the increasingly important environmental problems, since finding a better quality of life for exposed people has become a priority for them. To develop a public policy focused on environmental mitigation programs, it is necessary to evaluate the harmful impacts to be avoided from an economic perspective through environmental economic assessment. In this context, the ecosystem service is defined as the benefit provided by an ecosystem to society, and in urban areas two types of ecosystem service are generally studied: regulatory and cultural ecosystem service. The purpose of this research mainly focuses on determining the impact on the environmental economic valuation in the Historic Center of Ayacucho by the regulation and cultural ecosystem services. The methodology used for data processing is included within contingent valuation, where traditional models related to econometric estimates that are restricted only to solving linear-type problems were usually used; that is why in this study a model of artificial neural networks will be established, which does not have this restriction. This model based on artificial intelligence has the versatility to solve non-linear problems, which makes it a powerful tool for predicting the environmental economic value, since after analyzing and processing the data, optimal results were obtained from the predictive capacity of the system. model, being that the negligible difference between the predicted value and the real value was demonstrated. Similarly, it was determined that the income variables directly influence the environmental economic value. The environmental economic value was measured based on the term called Willingness to Pay (DAP), where a WTP value of 40.73 soles (9.93 dollars) per person per year in the Historic Center of Ayacucho in the year 2021 was calculated for each interviewee. It was concluded that the artificial neural network algorithm developed in this study could be easily adapted in various geographical areas, as well as in a projected period of time in order to have this environmental economic value updated.

Keywords: Environmental economic valuation, ecosystem services, artificial intelligence models, artificial neural networks, willingness to pay.

INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos que preservan el patrimonio natural del país se relacionan de forma directa al desarrollo de la actividad humana y por ello vienen a ser afectados de forma creciente con el paso del tiempo, lo que también afecta al bienestar y calidad de vida de las personas expuestas. Dentro de sus programas ambientales, las autoridades en nuestro país no tienen en consideración sobre los beneficios potenciales del tipo económico que podrían obtenerse para la población involucrada, por lo que se requiere investigar la problemática en todos sus aspectos y contar con información actualizada que pueda reflejar la realidad actual, ya que una de sus funciones es la generación de programas de mitigación ambiental. Es debido a ello, que el presente estudio está enfocado en el desarrollo de una metodología en torno a soluciones efectivas y modernas, como la inteligencia artificial, generando de este modo un algoritmo que pueda ayudar a conseguir resultados de manera sencilla y precisa.

Esta investigación, en el área urbana, se enfocó principalmente en la valoración contingente de los servicios ecosistémicos, dentro del Centro Histórico de Ayacucho para el período anual 2021, estudiando al anillo vial central que contiene a las principales vías urbanas; la información primaria fue recolectada por medio de la técnica de la encuesta sobre la población afectada por la problemática estudiada. Consecuentemente se procesaron los datos primarios para ser introducidos en el algoritmo de redes neuronales artificiales elaborado, escogiendo al software Matlab como fuente para nuestro código de programación ya que se destaca por su poderío para el procesamiento de matrices, contando con un módulo enfocado a la inteligencia artificial. El algoritmo fue diseñado e implementado complementariamente en conjunto a una interfaz gráfica con la finalidad de disponer de una herramienta informática funcional, de fácil uso, flexible y atractiva.

El algoritmo de redes neuronales artificiales desarrollado finalmente nos dio un valor económico ambiental enfocado a los servicios ecosistémicos investigados, dicho valor fue representado mediante la Disposición a Pagar (DAP) para cada encuestado. Dicho valor es fundamental para la gestión medioambiental, determinando de manera precisa el presupuesto para la elaboración de un programa de remediación ambiental con la finalidad de salvaguardar el patrimonio natural de nuestro territorio.

I. Capítulo I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En las décadas recientes, la degradación del servicio ecosistémico provisto por el patrimonio natural del planeta ha cobrado mayor importancia como un problema que debe ser mitigado en el corto plazo; esto ha llevado a un consenso sobre varias medidas globales de mitigación, guiándonos mediante consensos como el Protocolo de Kioto o el Acuerdo de París. Desde un punto de vista integral, es indiscutible que la degradación de los servicios ecosistémicos causa daño tanto al medio humano en un enfoque global, y por ende a sus organismos de cierta manera. Nuestro país, al igual que otros países latinoamericanos, no escapa a esta impactante realidad. Este estudio se enfocó en el área de influencia del Centro Histórico de Ayacucho, área urbana ubicada en el Departamento de Huamanga de la Provincia de Ayacucho.

Tabla 1.

Región de Ayacucho - Gasto Público Ambiental (millones de soles)

Año	Concepto	Ayacucho	Nacional
2021	PIM	53.9	4015.80
	Devengado	22.3	1930.80
	%	41.5%	48.1%
2020	PIM	66.2	4309.2
	Devengado	46.4	3417.3
	%	70.1%	79.3%
2019	PIM	58.6	4008.30
	Devengado	43.9	3244.30
	%	75.0%	80.9%
2018	PIM	81.9	3953.7
	Devengado	60.1	3273.9
	%	73.2%	82.8%
2017	PIM	65.9	3539.3
	Devengado	49.6	2922.7
	%	75.3%	82.6%

Fuente: Ayacucho - Reporte estadístico departamental (Ministerio del Ambiente, 2021)

Las consecuencias adversas relacionadas a la degradación de los servicios ecosistémicos tienen que ser evaluadas económicamente para desarrollar políticas públicas basadas en medidas de mitigación relacionadas a montos específicos en la región de Ayacucho. Dentro de esta problemática, en la región de Ayacucho se tiene muy poca información sobre valores monetarios de los servicios ambientales, así como muy poca investigación sobre este tema.

Para el caso especial de los servicios ecosistémicos, se suelen utilizar modelos tradicionales relacionados a estimaciones econométricas. Es por ello que, el problema no solamente proviene de la cantidad limitada de datos, también afecta la confiabilidad del modelo adoptado. Dichos modelos se limitan a tratar solo con estimaciones lineales y, por lo tanto, el nivel de eficiencia se reduce con la subjetividad de la valoración contingente de los servicios ecosistémicos, que es inherentemente no lineal. Por esta razón, la limitación de los modelos econométricos clásicos están siendo suplidos por las metodologías modernas basadas en inteligencia artificial (Strogatz, 2018).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿De qué manera el servicio ecosistémico influye en la valoración económica ambiental del Centro Histórico de Ayacucho, 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿De qué manera el servicio ecosistémico tradicional de regulación influye en la valoración económica ambiental?
- b. ¿De qué manera el servicio ecosistémico tradicional cultural influye en la valoración económica ambiental?

1.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

1.3.1. Antecedentes Internacionales

Se han realizado diversos estudios a nivel internacional sobre la valoración económica contingente de los servicios ecosistémicos; esta clase de investigación se realiza en su mayoría en Europa, Asia y Estados Unidos. La realidad de nuestro entorno

se ve diferente, porque en Latinoamérica se realiza una pequeña cantidad de este tipo de investigación en diferentes ciudades en comparación con Europa, y mucho menos con los métodos actuales, como las redes neuronales artificiales adaptadas a esta problemática.

Pardavé y Jerez (2014) desarrollaron un modelo económico de valoración económica contingente de la calidad del aire. El propósito fue obtener la disposición a pagar (DAP) como método de pago de los contribuyentes que residen en la zona para mantener la calidad de los servicios ecosistémicos, generando de esta forma una adecuada salud pública a través de la política ambiental de Bucaramanga en Colombia. Los resultados muestran que los ciudadanos tienen una disposición a pagar (DAP) mensual de 10.000 pesos colombianos (USD 2,59) por persona, con el objetivo principal de mejorar la calidad del aire de la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

Lera-López et al. (2014) en su artículo científico en Navarra, España, aplicaron un modelo econométrico probit para determinar la disposición a pagar (DAP) de las personas que viven cerca de las carreteras de la zona periférica de Navarra. La metodología de valoración económica contingente fue utilizada mediante un modelo econométrico probit. En este artículo se calculó la Disposición a Pagar (DAP) que recibirán los residentes próximos a la carretera resultando un valor de 9.31 euros (USD 10.98) por habitante y mes, para reducir el impacto del ruido y la contaminación por el transporte de mercancías en la carretera de Navarra, España.

Ferrón-Vílchez et al. (2018) llevaron a cabo un estudio aplicando la valoración económica contingente a la industria europea del transporte. La metodología usada fue la valoración económica contingente a través de un modelo econométrico logit del servicio ecosistémico. Se concluye que las empresas que predicen los costos ambientales en base a la internalización temprana pueden superar con éxito regulaciones ambientales más estrictas, generando mayores ganancias mediante una ventaja competitiva sostenible.

Ripka de Almeida et al. (2018) analizaron diferentes métodos de valoración ambiental aplicados en diferentes ciudades, siendo que: en Colombia se aplicaron los Costos Evitables, en Irán se aplicaron los Costos de Viaje, en Suiza se aplicaron los Precios Hedónicos y finalmente en Cuba se aplicó la Valoración Contingente. Se utilizaron diversas metodologías ya que el objetivo principal de este estudio fue analizar diferentes

características en distintos entornos de investigación. En este estudio se extraen conclusiones acerca de la importancia de estos métodos para el desarrollo de políticas públicas enfocadas a la preservación del patrimonio natural, dirigidas principalmente a actividades de prevención, conservación, protección y rehabilitación del servicio ecosistémico en áreas urbanas de los entornos estudiados.

1.3.2. Antecedentes Nacionales

A nivel nacional se tiene poca investigación en relación a este tipo de estudios, y aún menos enfocados en metodologías actualizadas teniendo como finalidad la automatización mediante modelos predictivos del valor económico ambiental. Se debe precisar que la investigación en el Perú considera en su mayoría solamente condiciones clásicas en base a su metodología, destinados únicamente a encontrar el valor económico sin llegar a generar un modelo que prediga dicho valor vinculado a la subjetividad individual de las personas involucradas.

Maturana y Pintado (2013) calcularon la disponibilidad a pagar (DAP) para la reducción de Gases Efecto Invernadero (GEI) asociados al deterioro del servicio ecosistémico, mediante una herramienta desarrollada para reducir el sesgo hipotético en los modelos econométricos de valoración económica contingente. La metodología utilizada es la denominada *Cheap Talk*, que se basa en conceptos de los servicios ecosistémicos para reducir el sesgo hipotético. Se concluye que la disponibilidad a pagar (DAP) resultante es de S/. 7.46 soles (USD 2.6 dólares) por persona por semana, resultando un monto mensual por persona de S/. 29.84 soles (USD 7.33 dólares), siendo que este monto tiene como objetivo la reducción de la emisión de gases efecto invernadero en Lima, Perú.

Verona y Rodríguez (2013) calcularon el valor de la disposición a pagar (DAP) para el servicio ecosistémico de la Laguna Conache, en la región de La Libertad, Perú. Para lograr ello, se utilizó la valoración contingente (VC) como metodología para la obtención de dicho valor económico enfocándose las encuestas hacia los turistas y visitantes, con la finalidad de preservar el ecosistema provisto por la Laguna Conache. Se llegó a concluir que la disposición a pagar (DAP) calculada para los visitantes, es de S/. 100.24 soles (USD 24.62 dólares) por persona anualmente, es por ello que cada visitante pagaría S/. 8.35 soles (USD 2.05 dólares) por persona por mes para la preservación de la Laguna Conache, Perú.

Galvez (2013) determinó la disposición a pagar (DAP) a través de un modelo econométrico clásico Logit para poder valorar los activos ambientales de la Reserva Nacional del Titicaca, Puno. La valoración económica contingente fue utilizada como metodología para el análisis del servicio ecosistémico. La conclusión obtenida en dicha investigación fue que la disposición a pagar (DAP) es de S/. 6.36 (USD 1.56 dólares) por persona de forma mensual, este valor económico se refiere al aporte que cada familia está dispuesta a abonar para la descontaminación y posterior mejora de la calidad ambiental la Reserva Nacional del Titicaca, Perú.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación de la Investigación

La justificación de este estudio puede sustentarse en función a los criterios extraídos desde los conceptos metodológicos plenamente demostrados y utilizados como referente en fuentes de investigación (Hernández et al., 2014).

Conveniencia: En la ciudad de Ayacucho se cuenta con pocos datos e información ambiental escasa relacionada a la valoración económica del servicio ecosistémico, y este estudio es útil para llenar este vacío al predecir estos valores económicos en contraste con la realidad.

Relevancia social: La degradación de los servicios ecosistémicos es un problema creciente y fue necesario cuantificar la cantidad de daño que provoca en el Centro Histórico de Ayacucho, por lo que es primordial tener en cuenta su valor económico. Los resultados del presente estudio son importantes para el gobierno local, así como para las instituciones privadas y públicas que planifiquen programas sociales en el marco de la conservación del medio ambiente.

Implicaciones prácticas: Es necesario la creación de planes de mitigación y políticas públicas con fines de regulación de esta realidad problemática en plazos razonables hasta un contexto tolerable, para ello se necesita tener información de datos de valores económicos en la ciudad de Ayacucho que se incremente paulatinamente, de modo que la percepción individual de las personas expuestas es básica para crear políticas.

1.4.2. Importancia de la investigación

El modelo basado en redes neuronales artificiales tendrá como función el de generalizar los datos obtenidos a través del proceso de valoración económica contingente enfocado a los servicios ecosistémicos, permitiendo de esta manera la predicción de estos valores con una mayor precisión considerando la subjetividad de los datos de entrada.

Se usó el método de valoración contingente, que es aplicable para valorar los servicios ecosistémicos, siendo que tiene la capacidad de calcular al mismo tiempo los valores de uso y no uso requeridos para estos tipos de servicio ambiental. Asimismo, existe una gran cantidad de modelos clásicos del tipo econométrico para la valoración contingente, pero para este estudio se generará un modelo predictivo utilizando redes neuronales artificiales para automatizar este proceso.

El poder predictivo del modelo es una herramienta para generar valores económicos para los servicios ecosistémicos en base a diversos parámetros recopilados de los encuestados dedicados a la actividad comercial que demandan los beneficios de los servicios ecosistémicos en la investigación.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Alcances de la Investigación

El alcance de la investigación se centra en el anillo vial alrededor del centro histórico de Huamanga, específicamente se basa en el área urbana de la ciudad enfocado en las viviendas con fachada hacia la calle. Por cada vivienda se encuestó a un sola persona debido a que en el escenario hipotético creado por la encuesta se requiere un pago basado en un impuesto para cada vivienda, el cuál deberá ser abonado por un único responsable mayor de edad dedicado principalmente al ámbito comercial; esto es debido a que la zona es mayormente comercial.

1.5.2. Limitaciones de la Investigación

Price y Murnan (2004) afirman que pueden definirse en términos de dos aspectos esenciales las limitaciones del estudio: las limitaciones del investigador y las limitaciones metodológicas.

Las limitaciones del investigador se dieron esencialmente en los escenarios en que la investigación está regida a efectos transversales debido a que el valor hallado por medio de la metodología de valoración contingente de los servicios ecosistémicos no permanece inalterado y tiene que ser obtenida frecuentemente de forma anual. Dicha variabilidad se basa en su naturaleza misma, siendo que el ecosistema circundante a las personas en estudio está constantemente cambiando; así mismo existieron limitaciones de tipo cultural que originaron sesgos en los datos, esto se dio por la subjetividad del método usado durante la valoración contingente vinculada a la percepción individual de los encuestados.

Las limitaciones metodológicas de nuestro estudio estuvieron relacionadas al tamaño muestreado ya que, según el enfoque cuantitativo utilizado, los datos de entrada fueron limitados solamente a las personas relacionadas a la actividad comercial dentro del anillo vial que residen en el Centro Histórico de Ayacucho, debido a su representación del porcentaje de 90% de las viviendas en el área de investigación. Posteriormente se usaron herramientas estadísticas para restringir esta cantidad, generando una limitación en la capacidad de aprendizaje de nuestro modelo de redes neuronales artificiales.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Objetivo General

Determinar que el servicio ecosistémico influye en la valoración económica ambiental del Centro Histórico de Ayacucho, 2021.

1.6.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar que el servicio ecosistémico tradicional de regulación influye en la valoración económica ambiental.
- b. Determinar que el servicio ecosistémico tradicional cultural influye en la valoración económica ambiental.

1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Hipótesis General

El servicio ecosistémico influye en la valoración económica ambiental del Centro Histórico de Ayacucho, 2021.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- a. El servicio ecosistémico tradicional de regulación influye en la valoración económica ambiental.
- b. El servicio ecosistémico tradicional cultural influye en la valoración económica ambiental.

II. Capítulo II: MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. SERVICIO ECOSISTÉMICO

Es considerado como el beneficio económico, ambiental y social hacia la sociedad aportado por el ecosistema. Los servicios ecosistémicos son clasificados en cuatro clases nombrados a continuación: servicios de regulación, servicios culturales, servicios de soporte y servicios de provisión. La sociedad a través de instrumentos asigna el valor económico del servicio ecosistémico y su determinación en el área urbana es enfocado esencialmente en el servicio ecosistémico de regulación y cultural, siendo los servicios ecosistémicos restantes considerados afectantes en menor medida (Montes & Sala, 2007).

Tabla 2.

Tipos de Servicios Ecosistémicos

Servicios de Regulación	<ul style="list-style-type: none">▪ Regulación de la calidad del aire▪ Regulación de la erosión▪ Regulación del agua▪ Regulación de riesgos naturales▪ Polinización▪ Purificación del agua y tratamiento de aguas▪ Regulación del clima
Servicios Culturales	<ul style="list-style-type: none">▪ Recreación y turismo▪ Valores estéticos▪ Valores espirituales y religiosos
Servicios de Provisión	<ul style="list-style-type: none">▪ Agua▪ Alimento▪ Recursos genéticos▪ Combustibles▪ Fibra
Servicios de Soporte	<ul style="list-style-type: none">▪ Ciclo de nutrientes▪ Formación del suelo▪ Producción primaria

Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005)

Generalmente, en las políticas medioambientales enfocadas en la administración de los recursos naturales no se incluye de forma directa el valor económico del servicio ecosistémico característico en las diferentes regiones para cada nación. Debido al inadecuado manejo de los servicios ecosistémicos por parte de los gobiernos locales, no se aprovecha ni comercializa los beneficios potenciales que estos pueden proveer de manera sostenible.

Es debido a lo anterior descrito que, para lograr conocer el valor económico total por los servicios ecosistémicos, del tipo comercial y no comercial, se recurrirán a técnicas de valoración ambiental que evalúen los servicios ecosistémicos y de esta manera se podrá gestionar eficientemente los recursos naturales para el beneficio de la sociedad demandante. Al tener un inventario de la cantidad disponible de servicios ecosistémicos y su distribución espacial en cada región, se podrá mejorar la intervención responsable y medidas dispuestas por las autoridades (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Otro concepto relacionado a los servicios sistémicos se enfoca principalmente en los beneficios tangibles e intangibles provistos por la naturaleza para el beneficio de la sociedad. Se utilizan una serie de modelos estadísticos y metodologías consistentes en la simulación de mercados, posteriormente los beneficios que estos servicios brindan se valoran y expresan mediante cantidades monetarias, teniendo como finalidad la contrastación con la actividad económica en un mercado real, en donde un valor menor implica cierto deterioro en los ecosistemas estudiados. Finalmente, los modelos estadísticos obtenidos podrán servir como información fundamental para elaborar programas medioambientales que tengan como objetivo el mejoramiento de la calidad de vida y la conservación de los servicios ecosistémicos (Camacho & Ruiz, 2012).

2.1.1.1. Servicio ecosistémico de regulación

Puede ser considerado como el conjunto de beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos de los ecosistemas siendo fundamental en la búsqueda del bienestar de la sociedad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Dichos beneficios son obtenidos de forma directa de los ecosistemas, sin la necesidad de tener que transitar por procedimientos de transformación, siendo la regulación de la calidad del aire un ejemplo representativo de ello, así como también la regulación de la

erosión, del clima, y otros. Actualmente se tiene un estado de degradación de estos servicios, lo cual genera impactos no deseados sobre el bienestar de la población afectada por la degradación del servicio de regulación planteada (Corredor et al., 2012).

La presente investigación se centró en la periférica del Centro Histórico de Ayacucho, siendo que la calidad del aire se viene degradando con el pasar del tiempo a consecuencia del alarmante incremento de emisiones gaseosas vehiculares y comerciales, es decir que este problema va en aumento ya que el parque automotor sigue creciendo, así como el mayor desarrollo de la actividad comercial de esta zona (Resolución Ministerial N° 294-MINAM, 2015). Debido a esto, nuestro estudio se enfocó en el servicio ecosistémico de regulación de la calidad del aire, considerándose como una de las variables fundamentales para hallar el valor económico ambiental dentro del Centro Histórico de Ayacucho.

2.1.1.2. Servicio ecosistémico cultural

Pueden ser considerados como los beneficios no materiales que los ecosistemas brindan a los individuos residentes y visitantes en torno a un área de influencia, entre los distintos tipos que se abarca, se pueden mencionar a la recreación y turismo, así como también a los valores espirituales y religiosos, los valores estéticos que se fundamentan en la belleza escénica como inspiración para la cultura (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

El servicio ecosistémico cultural también es definido como un beneficio tangible o intangible otorgado por los ecosistemas en el aspecto cultural y social, que atañe directamente al bienestar cognitivo y espiritual de los individuos implicados en el área de influencia; el estudio de este servicio brindado por la naturaleza se realiza en base a una variedad de métodos disponibles según el caso analizado, cuya finalidad esencial es encontrar un valor económico como parte de un diagnóstico que pueda caracterizar el ámbito de estudio para una planeación medioambiental territorial (Angarita, 2016).

En el ámbito de estudio que abarca al Centro Histórico de Ayacucho, la calidad medioambiental paisajística sufre mayor deterioro durante las fechas costumbristas y de actividades culturales propios de la región, esto se ve evidenciado durante los meses en los que la afluencia de turistas es mayor, produciéndose mayor contaminación en la calidad del aire así como un mayor volumen de residuos sólidos (Resolución Ministerial

N° 294-MINAM, 2015). Debido a esto, nuestro estudio se enfocó en el servicio ecosistémico de cultural de recreación y turismo, considerándose como una de las variables fundamentales para hallar el valor económico ambiental dentro del Centro Histórico de Ayacucho.

2.1.2. VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL

Es considerado como un instrumento matemático que se usa para expresar en términos monetarios el valor cuantitativo de los servicios ecosistémicos, para lo cual será necesaria la creación de un mercado hipotético debido a que habitualmente no se tiene una cantidad monetaria en los mercados reales de este tipo de servicios. La variación de la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos en el transcurso del tiempo, produce una afectación negativa en relación al bienestar de las personas involucradas, por lo que esta variación en el bienestar se expresa en unidades monetarias determinadas a través de la valoración económica ambiental. Actualmente, la sobrepoblación está produciendo perjuicios sobre los ecosistemas, siendo que uno de los principales desafíos son los problemas de escasez, en donde ya es necesario priorizar las mejores opciones priorizando el uso social de los recursos disponibles. Es en base a esto que se sustenta que la priorización del uso de recursos ambientales debe ser gestionada de forma inteligente, siendo para ello necesaria la información basada en estudios de valoración económica ambiental como criterio de selección para la toma de decisiones, eligiendo las opciones más responsables que ayuden a la sociedad y al medio ambiente (Vásquez et al., 2007).

Tabla 3.

Utilidad de la valoración económica ambiental

Análisis costo-beneficio	Con el objetivo de evaluar y seleccionar la alternativa óptima entre los proyectos planteados que maximicen el bienestar de la sociedad, se debe incorporar previamente al análisis costo-beneficio (ACB) los resultados obtenidos de la valoración económica ambiental.
Regulación ambiental	Con la finalidad de alcanzar un mejor nivel de calidad medioambiental, se debe promover una regulación entre los agentes económicos, es por ello que se necesita información concreta sobre la valoración económica de estos servicios ecosistémicos para el diseño de políticas de regulación ambiental apoyadas de incentivos económicos.

Contabilidad nacional	Para la elaboración de las cuentas medioambientales de la nación, es necesario contar con los valores monetarios del patrimonio natural disponible.
Planificación de políticas medioambientales	La valoración económica ambiental del patrimonio natural de una región, nos permite conocer costos que representan la degradación y hasta pérdida de estos servicios ecosistémicos, así como también los beneficios que se pueden obtener de la conservación y mejoramiento de estos; es por ello que se utiliza como una herramienta para la planificación de políticas medioambientales en el ámbito local, regional y nacional.
Desarrollar la conciencia ambiental	El desarrollo de la conciencia ambiental en la sociedad sobre los beneficios que conlleva la conservación de los ecosistemas puede ser de mayor comprensión para la población si se tiene un valor monetario que refleje este bienestar social.
Mecanismos de financiamiento ambiental	Para la creación de mecanismos de financiamiento ambiental apoyados de incentivos económicos destinados a la conservación del patrimonio natural, es necesario disponer de información y datos actualizados de valores actuales sujetos a la percepción de la sociedad.

Fuente: Ministerio del Ambiente (2016)

La valoración económica ambiental es fundamental para la adopción de estándares medioambientales, ya que mediante ella se obtienen las necesidades cuantitativas para sustentar políticas de regulación ambiental. Es por ello que se elaboró un registro consistente para la adecuación de programas de remediación ambiental con la finalidad de conseguir el objetivo de una óptima calidad medioambiental. Como consecuencias se generarán subsidios para la población afectada, y por el otro lado serían impuestos y multas contra los agentes contaminantes que pretendan vulnerar la calidad de los ecosistemas existentes (Ferrón-Vílchez et al., 2018). Es por ello que la valoración económica ambiental está directamente relacionada con la búsqueda de la cantidad monetaria que pueda representar de manera equivalente el daño generado al medio ambiente, siendo el fin último la cuantificación objetiva de alguna clase de retribución o compensación económica para la población afectada (Zawieska, 2015).

La valoración económica ambiental debe comenzar precisando que las percepciones individuales relacionadas al valor económico por los servicios ecosistémicos podrían

variar entre los cuestionarios desarrollados a pesar de que pertenecen a grupos sociales similares. A su vez, esta variación también se percibe conforme pasan los años para la misma persona por el motivo de la fluctuación de condiciones planteadas inicialmente. Para ello se realizó el muestreo dentro del ámbito de influencia del estudio para definir el valor económico ambiental y la población representativa del Centro Histórico de Ayacucho; siendo muchos los factores que afectan las apreciaciones individuales de la muestra, tales como el conocimiento respecto al problema, el nivel de ingreso económico, preferencias colectivas, medidas de mitigación planteadas, entre otros.

Es fundamental entender que el valor económico ambiental es determinado por medio de las medidas de la fluctuación en el bienestar de la sociedad, por lo que en primer lugar se definen estas medidas del bienestar cuantitativamente a través de una base económica. Es por ello que, el Ministerio del Ambiente (2013) ha definido estas medidas a través de 02 tipos, las medidas de bienestar Marshallinas y las medidas de bienestar Hicksianas.

Figura 1.

Medidas del bienestar Marshallinas y Hicksianas



Fuente: Ministerio del Ambiente (2016)

Se utilizan las medidas de bienestar Marshallinas como la forma con la cual poder cuantificar y conocer los efectos positivos o negativos generados por la variación en la cantidad y calidad del servicio ecosistémico sobre el bienestar de las personas afectadas. Estas medidas de bienestar son calculadas en base a dos términos matemáticos complementarios entre sí, el Excedente del Productor (EP) y el Excedente del Consumidor (EC). Estos modelos cuyo núcleo vienen a ser las funciones predictoras de demanda contienen variables de ingreso que pueden cuantificarse, como son el nivel

actual de ingreso y el precio; dichos argumentos de ingreso son utilizados para la primera estimación del valor económico en función del bienestar de la sociedad, adicionalmente al querer hallarse un valor económico último, se debe complementar mediante la adición de variables de ingreso adicionales enfocadas a la pregunta precisa del bienestar de la sociedad en función de la utilidad (Mendieta, 1999).

Para el caso de nuestra investigación, serán más útiles los modelos adoptados en base a las medidas de bienestar Hicksianas, que son utilizadas como la herramienta con la cual poder cuantificar las variaciones mediante la función de utilidad resultante del consumo del servicio ecosistémico en estudio y con ello poder conocer la fluctuación del bienestar en las personas afectadas. Estas medidas de bienestar son halladas en base a dos términos, las medidas de bienestar con variación equivalente (VEq) y las medidas de bienestar con variación compensada (VC), teniendo la característica de producir valores económicos ambientales con más precisión y rapidez a través de la función de la utilidad (Vásquez et al., 2007).

2.1.2.1. Medidas de bienestar con Variación Compensada (VC)

Son definidas de 02 formas, siendo más usual definirla como la cantidad monetaria máxima que está Dispuesto A Pagar (DAP) cada persona afectada debido al problema investigado y consecuentemente tener la posibilidad de acceder a un cambio favorable relacionado a su entorno y su bienestar personal, o también se podría utilizar la definición alternativa que viene a considerarla como la cantidad monetaria mínima que está Dispuesto A Aceptar (DAA) cada persona afectada debido al problema investigado como compensación por el cambio desfavorable vinculado a su entorno y su bienestar personal. Debido a ello, al estudiar la variación compensada, debe de ser precisado esencialmente que se considera a la población como el agente afectado con un derecho inalienable a percibir un adecuado nivel de bienestar que tendría que dirigirse a través de políticas ambientales óptimas fundamentadas en el valor económico ambiental resultante para la restitución de la situación inicialmente dada (Vásquez et al., 2007).

Los términos usados fueron definidos a basándonos en los fundamentos avanzados microeconómicos, específicamente se hizo uso de la teoría de las preferencias para la formulación matemática del valor económico ambiental:

m : Ingreso disponible
 p : Precio del servicio
 q : Cantidad del servicio
 U : Función de Utilidad
 e : Función de Gasto

La formulación matemática para representar a la variación compensada (VC) fue desarrollada por Just et al. (2005), siendo denotado a través de la ecuación (1), con los superíndices 0 y 1 que representan respectivamente al estado inicial y final:

$$V(p_1^1, p_2^0, m - VC) = U^0 = VC(p_1^0, p_2^0, m) \quad (1)$$

Mediante la teoría del consumidor se hará uso de la dualidad característica de esta, generando la siguiente ecuación:

$$m - VC = V^{-1}(p_1^1, p_2^0, U^0) = e(p_1^1, p_2^0, U^0) \quad (2)$$

En base a ello nos es posible hallar la variación compensada (VC) mediante una formulación matemática explícita, enfocada en la función de gasto (e) y la función del ingreso disponible (m).

$$m - VC = m^0 - e(p_1^1, p_2^0, U^0) \quad (3)$$

Si contamos con que la función de gasto (e) minimizada puede ser equivalente al ingreso disponible (m) al necesitar el valor de la función de utilidad (U) máximo, resultando útil con los precios y el ingreso que se dispone en el estado inicial (0):

$$m^0 = e(p_1^0, p_2^0, U^0) \quad (4)$$

Con todo lo anterior desarrollado, la variación compensada (VC) puede ser representada a través del incremento de la función de gasto (e):

$$VC = e(p_1^0, p_2^0, U^0) - e(p_1^1, p_2^0, U^0) = -\Delta e \quad (5)$$

Al hacer uso de la expresión matemática vinculada a la derivada parcial para poder representar la variación de la función de gasto (e) en términos del precio (p):

$$-\Delta e = \int_{p_1^0}^{p_1^1} \frac{\partial e(p_1^0, p_2^0, U^0)}{\partial p_1} dp_1 \quad (6)$$

Finalmente, se representará de manera explícita a la variación compensada (VC) a través de la ecuación mostrada a continuación:

$$VC - \Delta e = \int_{p_1^0}^{p_1^1} \bar{q}_1(p_1, p_2, U^0) dp_1 \quad (7)$$

La función de demanda Hicksiana es representada a través de la ecuación en función de la cantidad del servicio $\bar{q}_1 = \bar{q}_1(p_1, p_2, U^0)$. La función de demanda Hicksiana (\bar{q}_1), la función de gasto (e) y la función de utilidad (U) son esenciales para conjuntamente formular la expresión matemática que represente a la variación compensada (VC), teniendo como finalidad el de cuantificar la variación de la medida del bienestar del consumidor al producirse variaciones respecto al precio del servicio ambiental provisto.

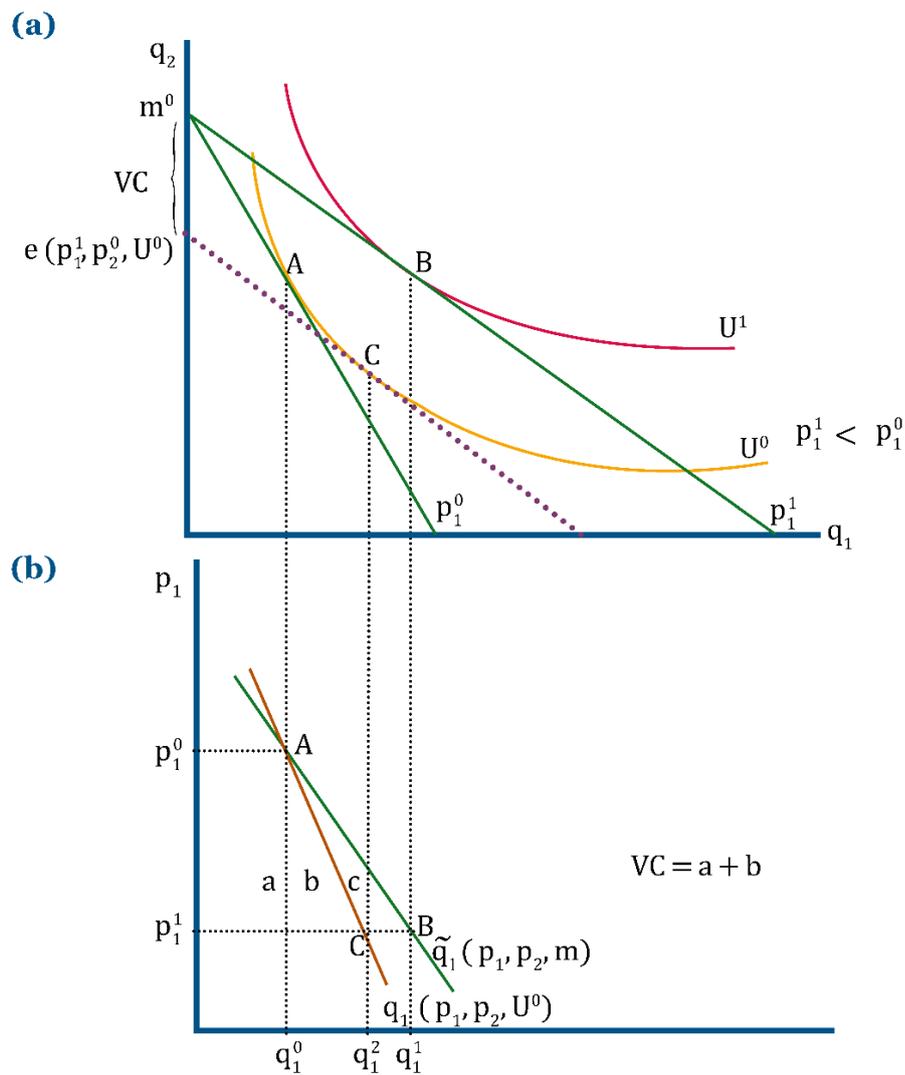
Cómo podemos observar en el siguiente gráfico, la variación compensada (VC) fue trazada en función al decremento en el valor de los precios desde p_1^0 hasta p_1^1 , por lo cual se tendrá como consecuencia un nivel de utilidad más elevado del consumidor, siendo que a medida que el precio continúe decreciendo, generará una cantidad mayor demandada por el servicio ecosistémico, resultando q_1^0 menor a q_1^1 . Debido a esto, el nivel de utilidad U^1 estará expresado gráficamente por el punto B en la figura (a).

La máxima disposición a pagar (DAP) por un cambio positivo de cada involucrado viene a ser la definición de la variación compensada (VC), quiere decir que esta mejora explícita se representa a través de la distancia vertical en la figura (a). La condición fundamental para que el involucrado tenga la posibilidad de beneficiarse nuevamente de la canasta de consumo típico, es representada gráficamente al trazarse una línea paralela interceptando a la curva de utilidad U^0 en el punto C tomando de referencia $m^0 p_1^1$.

La curva de demanda Hicksiana es formada mediante la función de utilidad (U) y de los precios (p), referenciados a los puntos A y C contrastados en la figura (b). La fluctuación en los precios (p), repercute mediante un efecto de sustitución visualizado en la curva de demanda; es decir, que si q_1 viene a ser la cantidad del servicio investigado, entonces la función de demanda Marshalliana tenderá a ser mayor que la elasticidad de precio en la curva de la demanda Hicksiana, esto es debido a que la elasticidad del ingreso de la demanda tiene un valor positivo mayor a cero.

Figura 2.

Variación compensada del decremento del precio del servicio ecosistémico



Fuente: Mendieta (1999)

También puede observarse que el área representativa de la variación compensada (VC) puede ser delimitada por los puntos $p_1^0 p_1^1 CA$ y posteriormente para trazar la curva se utiliza como referencia al nivel de utilidad inicial. Se debe precisar que a través de una estimación matemática de la disponibilidad a pagar (DAP) máxima de los consumidores afectados pertenecientes a la muestra investigada es posible obtener la variación compensada (VC), siendo que se les plantea conseguir un cambio favorable respecto a su entorno ambiental inicial; o si el investigador determina, podría plantearse en base a una retribución económica compensatoria debido a un cambio desfavorable en su entorno ambiental inicial expresado por la disposición a aceptar (DAA) mínima.

Al describir ambos escenarios, se constata que no llega a alterarse el nivel de utilidad del estado inicial, debido a que hipotéticamente, la ganancia de cada consumidor está relacionada a una retribución económica con un valor equivalente a la ganancia de bienestar siendo cuantificada por la disposición a pagar máxima; de la misma manera, hipotéticamente, la pérdida de individuo se relaciona a una compensación económica con un valor equivalente a la pérdida de bienestar siendo cuantificada por la disposición a aceptar mínima.

2.1.2.2. Medidas de bienestar con Variación Equivalente (VEq)

Son definidas de 02 formas, siendo más usual definirla como la cantidad monetaria máxima que está Dispuesto A Pagar (DAP) cada persona afectada debido al problema investigado y consecuentemente tener la posibilidad de evitar un cambio desfavorable relacionado a su entorno y bienestar personal, o también se podría utilizar la definición alternativa que viene a considerarla como la cantidad monetaria mínima que está Dispuesto A Aceptar (DAA) cada persona afectada debido al problema investigado como compensación por la renuncia a un cambio favorable vinculado a su entorno y bienestar personal. Debido a ello, al estudiar la variación equivalente, debe de ser precisado esencialmente que se considera a la población como el agente afectado con un derecho inalienable a percibir un adecuado nivel de bienestar que tendría que dirigirse a través de políticas ambientales óptimas fundamentadas en el valor económico ambiental resultante para lograr la situación finalmente esperada (Vásquez et al., 2007).

Los términos usados fueron definidos a basándonos en los fundamentos avanzados microeconómicos, específicamente se hizo uso de la teoría de las preferencias para la

formulación matemática del valor económico ambiental:

m : Ingreso disponible

p : Precio del servicio

q : Cantidad del servicio

U : Función de Utilidad

e : Función de Gasto

La formulación matemática para representar a la variación equivalente (VEq) fue desarrollada por Just et al. (2005), siendo denotado a través de la ecuación siguiente, con los superíndices 0 y 1 que representan respectivamente al estado inicial y final, generando una variación del precio desde p^0 para llegar a p^1 donde se obtuvo:

$$V(p_1^0, p_2^0, m + VEq) = U^1 = V(p_1^1, p_2^0, m) \quad (8)$$

Consecuentemente, con la condición de no variar los precios hasta conseguir un nivel de utilidad final U^1 , aceptando para la disposición a aceptar un mínimo valor económico por parte del involucrado se generará la ecuación para la variación equivalente (VEq).

$$m^0 + VEq = V^{-1}(p_1^0, p_2^0, U^1) = e(p_1^0, p_2^0, U^1) \quad (9)$$

Tal cómo se desarrolló la variación compensada (VC), de igual forma es posible representar matemáticamente a la variación equivalente (VEq) a través de la función de gasto (e) y la función de utilidad indirecta (U), mediante el uso de la dualidad de la teoría del consumidor enmarcado en el proceso de inversión tendremos:

$$VEq = e(p_1^0, p_2^0, U^1) - m^0 \quad (10)$$

La función de gasto (e) minimizada se puede equiparar al ingreso disponible (m) en el proceso para obtener el valor máximo dentro de la función de utilidad (U), todo ello con el objetivo de representar al ingreso inicial, validado para precios (p) y para el ingreso disponible del estado inicial (m^0):

$$m^0 = e(p_1^0, p_2^0, U^0) = e(p_1^1, p_2^0, U^1) \quad (11)$$

Por ello se utiliza a la variación de la función de gasto (e) para poder representar a la variación equivalente (VEq):

$$VEq = e(p_1^0, p_2^0, U^1) - e(p_1^1, p_2^0, U^1) = -\Delta e \quad (12)$$

Para lo cual, para representar la variante de la función de gasto (e) en términos del precio (p) se utiliza la derivada parcial de esta función:

$$VEq = -\Delta e = - \int_{p_1^0}^{p_1^1} \frac{\partial e(p_1, p_2, U^1)}{\partial p_1} dp_1 \quad (13)$$

De este modo, la siguiente ecuación representa de manera explícita a la variación equivalente (VEq):

$$VEq = -\Delta e = - \int_{p_1^0}^{p_1^1} \bar{q}_1(p_1, p_2, U^1) dp_1 \quad (14)$$

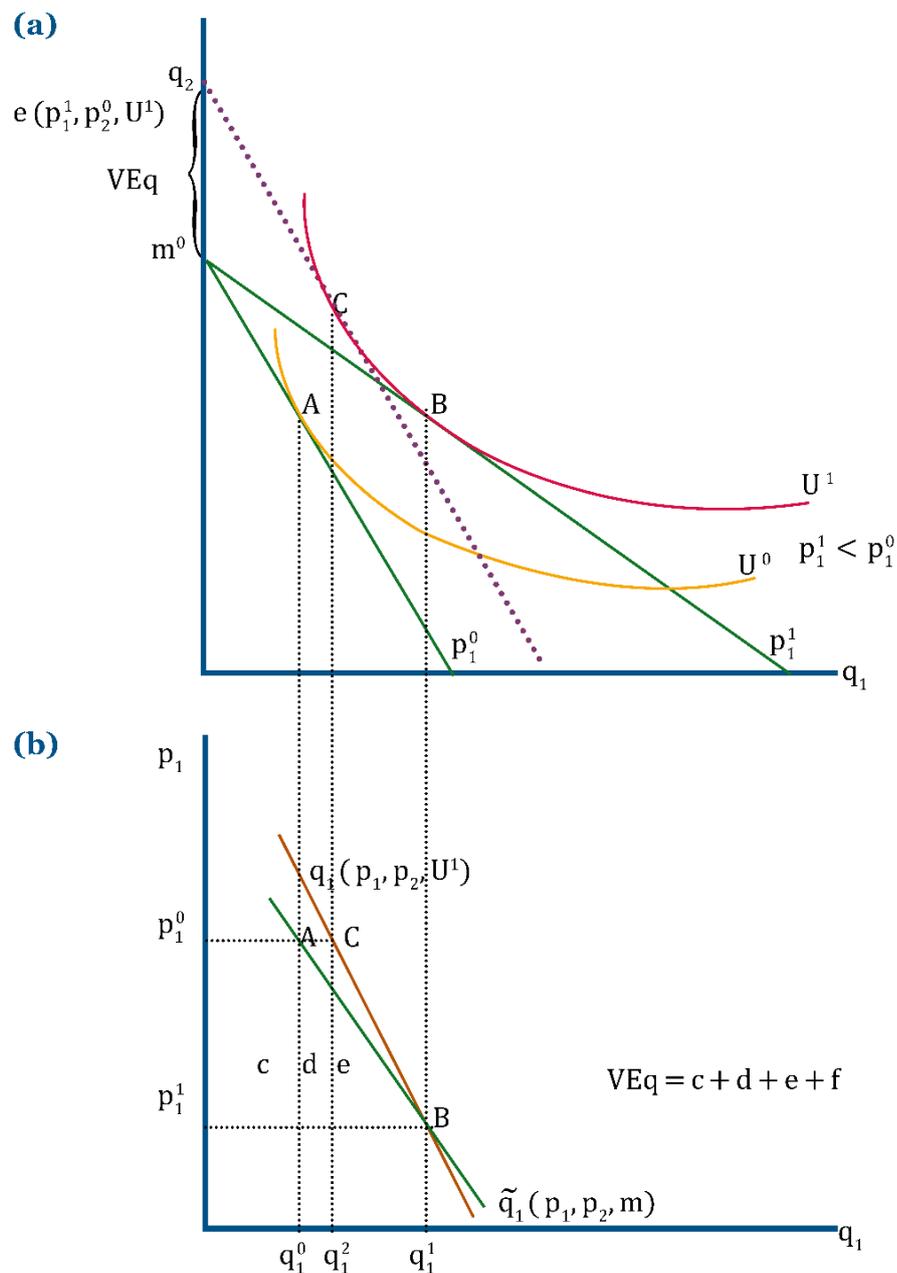
Para obtener un nivel final de utilidad sin alteración de los precios, hicimos uso de la variación equivalente (VEq) para cuantificar la diferencia en la función de gasto (e). Ello se pudo representar mediante el gráfico siguiente, donde podemos verificar que a consecuencia de un decremento en el precio desde p_1^0 hasta llegar a p_1^1 , el sujeto experimenta una utilidad mayor representado por el desplazamiento del punto A hasta el punto B .

La variación equivalente (VEq) es representada gráficamente mediante la distancia vertical desde m^0 hasta $e(p_1^0, U^1)$, siendo la disposición a aceptar (DAA) mínima para la renuncia a una situación favorable estimada mediante el nivel de utilidad U^1 graficado. A continuación, se trazó una línea que es paralela a la recta $m^0 p_1^0$, con la finalidad de alcanzar el nuevo punto C sobre la curva de la función de utilidad U^1 .

Finalmente, podemos visualizar el área que es delimitada por los puntos $p_1^0 p_1^1 BC$ que corresponde a la variación equivalente (VEq) dentro el gráfico (b), conocida como la curva de demanda Hicksiana. Esta área se expresa en términos del precio y de la función de utilidad U^1 , ya que es determinada para el precio inicial y final. Por lo que la variación equivalente (VEq) es utilizada de forma gráfica para la visualización del nivel de utilidad última.

Figura 3.

Variación equivalente del decremento del precio del servicio ecosistémico



Fuente: Mendieta (1999)

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Redes Neuronales Artificiales

El conjunto de unidades de procesamiento matemático computacional viene a ser la definición de una Red Neuronal Artificial (RNA) (es decir, cada unidad vendría a ser una neurona artificial) con la capacidad de aprender y adaptarse a las características de las variables de entrada y teniendo como finalidad la predicción con una estimación bastante aceptable de las variables de salida. Esta poderosa herramienta de predicción es necesaria para nuestra investigación ya que es utilizada en problemas de generalización, en donde previamente se realiza el proceso de entrenamiento con base en la estadística, simulando la estructura y los procesos del cerebro humano (De Luca, 2017).

En las redes neuronales artificiales, la característica principal viene a ser la capacidad de generalización y aprendizaje, ya que la estructura de este modelo generado dispone que la señal se transmita mediante las neuronas interconectadas, alimentando de manera sucesiva a las capas subsecuentes, adaptando los pesos sinápticos (inhibidores y excitadores) en cada iteración para poder condicionarse a un comportamiento predictivo. Dicha metodología basada en capas tiene como finalidad resolver problemas de generalización, predicción, asociación, clusterización, filtración, optimización y clasificación de modelos del tipo lineal y no lineal con los grados de libertad sin limitación (Alonso, 2014).

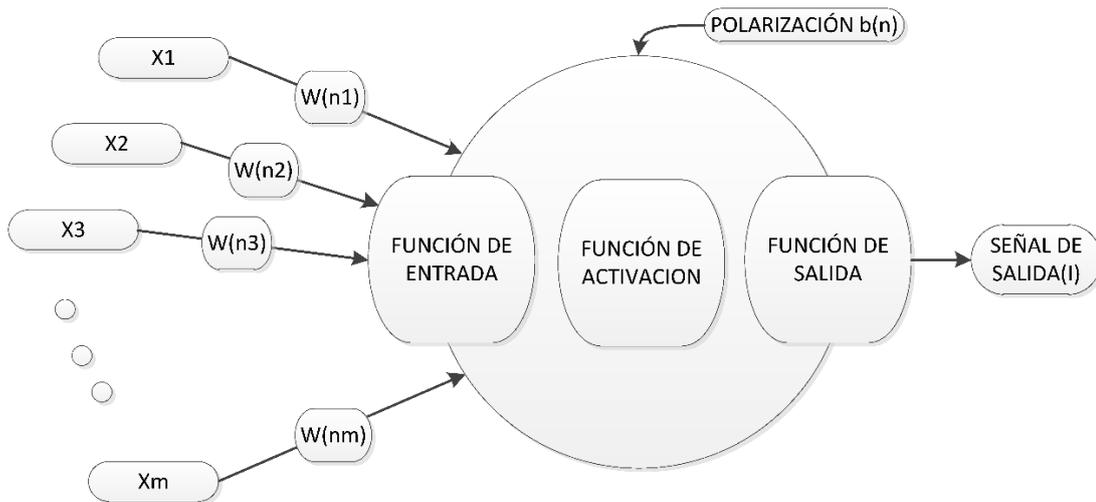
El aprendizaje en las redes neuronales artificiales se puede clasificar en tres tipos: aprendizaje supervisado, no supervisado y reforzado; específicamente en nuestra investigación relacionada a la predicción de valores la mejor alternativa es utilizar el aprendizaje supervisado, en donde la red neuronal conoce previamente los pares de entrenamiento, es decir, los valores de entrada y salida (matriz de entrada y salida introducidas). Al minimizar la diferencia de los valores reales obtenidos mediante el proceso de encuesta y de los respectivos valores predichos por la red neuronal a través de iteraciones en la función objetivo, se logra determinar los valores de los pesos sinápticos en función de los datos de entrada introducidos al modelo mediante un proceso de retropropagación del error. Obteniéndose los resultados finales con el error minimizado al terminar la última iteración (Haykin, 2009).

La neurona artificial viene a ser la unidad básica de la red neuronal artificial según lo descrito por Lanzarini (2004), así mismo, la red se encuentra compuesta de diferentes partes que interactúan entre sí y principalmente se tienen a los argumentos de entrada o señales, los pesos sinápticos, las funciones de entrada, las funciones de activación, el umbral y las funciones de salida:

- Las variables $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ representan a los argumentos de entrada para las neuronas artificiales en nuestro modelo predictivo que, de forma análoga al cerebro humano, vendrían a ser las señales electroquímicas transportadas a través de las dendritas hasta el núcleo de lo que vendría a ser la neurona biológica humana.
- Por medio de $\omega_{n1}, \omega_{n2}, \omega_{n3}, \dots, \omega_{nm}$ se representan a los pesos sinápticos de las neuronas, siendo la fuerza del enlace de conexión entre cada una de las neuronas artificiales del modelo utilizado, por ello se tiene que la matriz de elementos ω_{nm} representaron la memoria para el almacenamiento de los pesos y las características del problema investigado como engranaje primordial para poder predecir los valores nuevos.
- Entonces se tiene como señal de entrada a los argumentos x_n que son ponderados respectivamente por los pesos ω_{nm} previamente descritos, todo ello englobado en el interior de la neurona artificial. Consecuentemente, las funciones de activación son aplicadas a cada neurona y se consiguen las funciones de salida como resultado. Esto sería similar al proceso desarrollado en el interior del núcleo de una neurona biológica humana donde las señales de entrada son procesadas para la transmisión de la señal resultante a las neuronas subsecuentes en la red neuronal por medio de los terminales del axón.
- Finalmente, el umbral de cada unidad nos señala el grado de excitación para cada neurona artificial individualmente, este estado se actualiza durante las iteraciones realizadas dentro del modelo estadístico y se mide en función al estado de equilibrio inicial.

Figura 4.

Componentes de una Red Neuronal Artificial



Fuente: Canchari (2015)

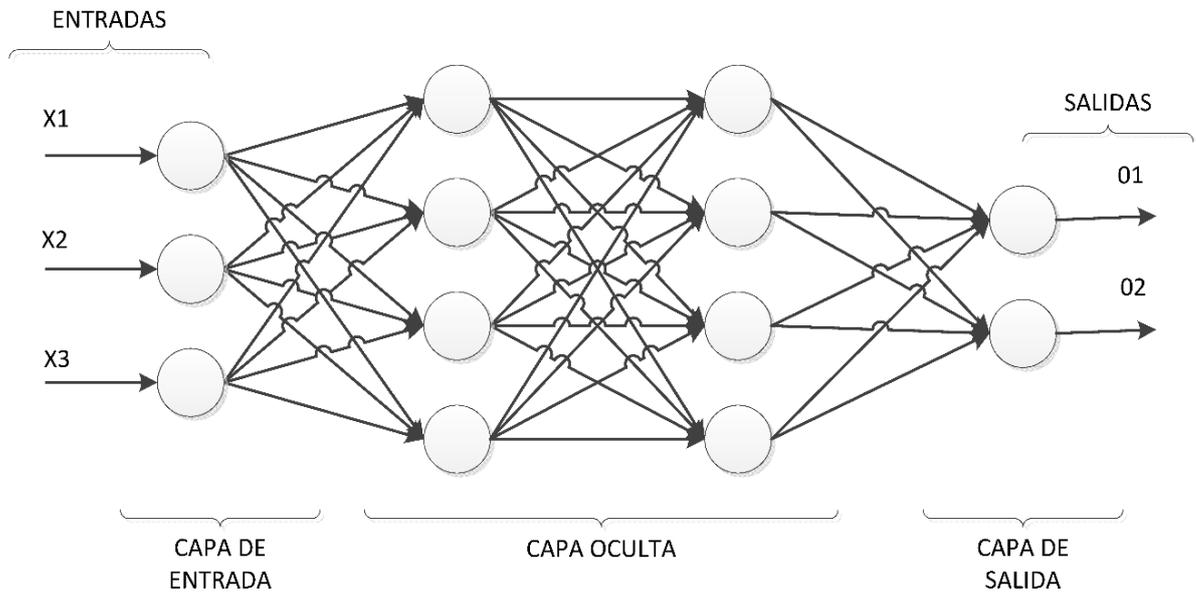
Debido a que el algoritmo de Backpropagation (retro-propagación) llega a producir resultados óptimos dentro de un tiempo computacional mínimo, usualmente se utiliza para conseguir los pesos sinápticos adecuados en cada iteración. Dicho algoritmo basado en el aprendizaje supervisado consiste en actualizar las conexiones sinápticas de forma proporcional al error encontrado en cada neurona artificial en la variable de salida de toda la red, comparándose dicho valor de salida con los valores reales obtenidos de la muestra de la presente investigación (Rumelhart & McClelland, 1986).

Este modelo de redes neuronales consiste en la agrupación de un conjunto de capas compuestas de neuronas dentro de cada una de ellas. Al ingresar los valores de entrada, pasarán posteriormente por las capas ocultas, sin ninguna restricción de cantidad, donde al final llegarán a la capa de salida donde obtuvimos el vector de valores de predicción.

Para cada iteración se ponderaron las conexiones mediante los pesos sinápticos determinados y estas conexiones se distribuyeron a las neuronas dentro de cada capa. En base el algoritmo de Backpropagation, cada peso sináptico fue actualizado en la iteración siguiente en relación del error resultante ya que este expresa la fuerza de la conexión entre neuronas. Por último, se ubicó el nudo con mayor error producido y al evaluarse a través de la función de activación, se pudo distribuir proporcionalmente alcanzando un grado aproximado de similitud con los valores de salida reales.

Figura 5.

Tipos de capas de una Red Neuronal Artificial



Fuente: Canchari (2015)

La representación matemática de la función de salida de esta red neuronal artificial se da a través de la expresión mostrada a continuación:

$$out_k = f\left(\sum_{i=1}^n \omega_{k,i} x_i\right) \quad (15)$$

Tal que, $\omega_{k,i}$ viene a ser el peso sináptico vinculado a la i -ésima entrada x_i y f es la función de activación escogida para el modelo predictivo.

2.2.2. Funciones de activación

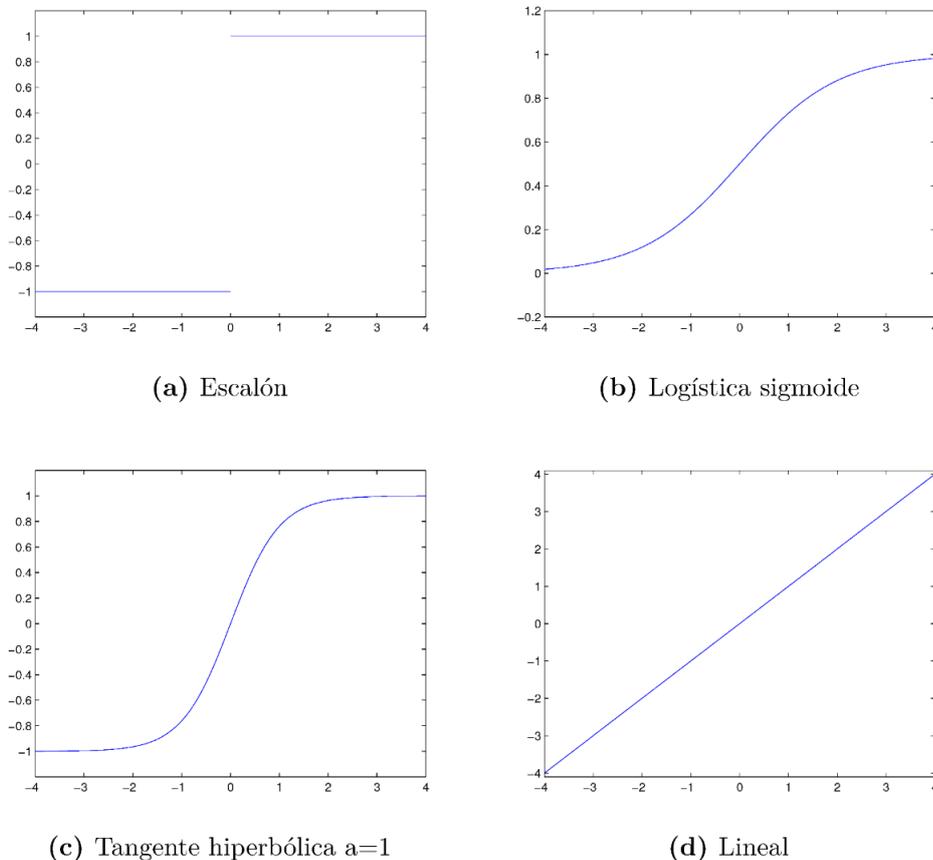
Una etapa esencial durante la programación de nuestro modelo de redes neuronales artificiales fue la adopción de la función de activación correcta para nuestra investigación. La función de activación fue útil para añadir distorsiones no lineales y así tener una limitación en la amplitud de los valores de salida para los intervalos conocidos. Es decir, que fue primordial su uso ya que de manera matemática se puede comprobar que, al realizar la sumatoria solamente de funciones lineales, se obtendrá únicamente una función lineal equivalente, es por ello que para la obtención de un modelo efectivo y complejo se sustenta la utilización de esta función de activación (De Luca, 2017).

El valor de salida real sería cada vez más lejano con la típica aparición de mínimos locales, por lo que se integró un algoritmo LMS (*Least Mean Square*) a la función de activación. Mediante este método de optimización, el modelo de redes neuronales artificiales fue ajustado para evitar los mínimos locales, siendo el método del descenso del gradiente el más óptimo para nuestra investigación; consistiendo en el afinamiento de los de ratios de aprendizaje (*learning rate*) en un proceso de prueba y error con diferentes valores de partida. Comúnmente se usan las siguientes funciones de activación:

Escalón:	$h(x) = \begin{cases} 1, & \text{si } x \geq 0 \\ -1, & \text{si } x < 0 \end{cases}$
Logística sigmoide:	$\text{sig}(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$
Tangente hiperbólica:	$\text{tanh}(x) = \frac{e^{ax} - e^{-ax}}{e^{ax} + e^{-ax}}$
Lineal:	$h(x) = x$

Figura 6.

Funciones de activación



Fuente: De Luca (2017)

El parámetro a expresa la pendiente de la curva para las funciones logística sigmoide y tangente hiperbólica. Se debe precisar que, las funciones sigmoidales comúnmente se derivan en su dominio y al fluctuar en torno a cero tienen un comportamiento lineal.

Dentro de las capas intermedias se hizo uso de la función de activación tangente hiperbólica para nuestro modelo de redes neuronales, por ello pudimos conseguir un valor de salida equivalente a los valores de entrada después de su normalización en la etapa de preprocesamiento siendo que entre $+1$ y -1 vienen a estar comprendidos los límites extremos del valor de retorno de la función tansigmoidal respectivamente. En cambio, como los valores de la matriz de salida son sensibles a rangos específicos de la disposición a pagar (DAP) se tuvo que hacer uso de la función de tipo lineal como función de activación para adaptarse a la capa final de salida.

2.2.3. Algoritmo de Backpropagation

La herramienta iterativa de ajuste de los pesos sinápticos en relación al error de salida con la finalidad de la obtención de un valor aceptable aproximado al real es usualmente conocido como el algoritmo de Backpropagation o de retro-propagación. Durante la iteración inicial conseguimos un valor de salida aleatorio para la red neuronal artificial, es entonces que los pesos sinápticos se reajustan actualizando el vector de salida $d_k(x_i)$, aproximándonos al vector objetivo conocido según $t_k(x_i)$, siendo la base fundamental del aprendizaje supervisado. Posteriormente se obtiene la diferencia entre el vector de salida objetivo y la salida de la red neuronal, como se indica a continuación:

$$\delta_k(x_i) = d_k(x_i) - t_k(x_i) \quad (16)$$

La representación matemática del error acumulado total (E) fue desarrollada por Tsokos y Welch (1978) siendo expresada como una combinación estimada de los errores cuadráticos de la muestra estudiada x_i , donde se precisa que la finalidad viene a ser la minimización de esta ecuación en cada iteración:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n (d_k(x_i) - t_k(x_i))^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=0}^d \omega_{k,j} x_{i,j} - t_{k,i} \right)^2 \quad (17)$$

En donde, el parámetro c representa el número de funciones $d_k(x)$; el parámetro n representa la cantidad de variables de entrada y finalmente el parámetro d representa la cantidad de neuronas en todas las capas del modelo.

Siendo que $t_k(x_i)$ es reemplazado por $t_{k,i}$ multiplicándose por un factor de $1/2$ para poder simplificar la expresión matemática. La diferencia cuadrática total entre los valores objetivo reales y los valores de salida de la predicción de la red neuronal equivalen a los valores del error cuadrático por medio de la métrica Euclídea elevada al cuadrado. Consecuentemente por medio de un proceso de optimización de la función de error obtuvimos el mínimo global, por ello se igualó a cero la derivada de la función en relación a los pesos sinápticos $\omega_{k,j}$:

$$\frac{\partial E}{\partial \omega_{k,j}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^d (\omega_{k,j} x_{i,j} - t_{k,i}) x_{i,j} = 0; k = 1, \dots, c \quad (18)$$

Durante la primera iteración, los pesos sinápticos $\omega_{k,j}$ fueron inicializados de forma aleatoria en función con problemas de similar naturaleza. A medida que se van realizando las iteraciones, los pesos sinápticos se actualizan para minimizar la función de error, en donde el decremento máximo es obtenido a través de la dirección del gradiente descendiente, es por ello que el método se denomina del descenso del gradiente. Por lo que restamos en la siguiente iteración $r + 1$ una cantidad ínfima del gradiente calculado en la iteración r (Marques De Sá, 2001), siendo expresado a continuación:

$$\omega_{k,j}^{(r+1)} = \omega_{k,j}^{(r)} - \eta \frac{\partial E}{\partial \omega_{k,j}} \quad (19)$$

$$\Delta \omega_{k,j} = -\eta \frac{\partial E}{\partial \omega_{k,j}} \quad (20)$$

El parámetro η fue utilizado para representar la tasa o ratio de aprendizaje cuya utilidad radica en que controla la velocidad de aproximación siguiendo la dirección del gradiente. Es importante la elección de la tasa siendo, que ello conlleva experiencia y criterio en problemas similares. Ya que al escogerse una tasa de aprendizaje bastante elevada, se

produjo una oscilación del algoritmo LMS alrededor del mínimo global generando fluctuaciones largas haciendo que el tiempo de convergencia tienda al infinito; en el caso contrario, al tomar un valor mínimo y preciso, la convergencia del valor de predicción fue muy aproximada a la realidad, con la desventaja de requerir un tiempo computacional muy largo, produciendo una respuesta demasiado lenta, existiendo la posibilidad de estancamiento dentro de un mínimo local. La derivada de la función de error en relación del valor de cada variable del peso sináptico de la iteración n , mediante la denominada regla delta es representada por:

$$\frac{\partial E(n)}{\partial \omega_{k,j}(n)} = -e_k(n) \varphi'_k(v_k(n)) y_j(n) \quad (21)$$

La representación del campo inducido local vinculado con la neurona k viene dado por v_k y es definido por $\sum_{i=1}^m \omega_{k,i}(n) y_i(n)$ mientras que la diferencia entre el vector objetivo conocido y los valores de salida de predicción fue representada por e_k . Durante la iteración n , la función de la señal emitida existente a la salida de la neurona k se expresa mediante y_j , teniéndose que:

$$y_j(n) = \varphi_k(v_k(n)) \quad (22)$$

La ecuación anterior puede desglosarse al reemplazar los términos descritos a través de:

$$\Delta \omega_{k,j}(n) = \eta \delta_k(n) y_j(n) \quad (23)$$

La expresión para el gradiente local $\delta_k(n)$ vendrá a ser:

$$\delta_k(n) = e_k(n) \varphi'_k(v_k(n)) \quad (24)$$

Con el valor de salida de la neurona k , a través de la ecuación matemática del gradiente local $\delta_k(n)$ pudimos constatar la equivalencia con el producto del error calculado $e_k(n)$ multiplicado por la derivada de la función de activación de esa neurona: $\varphi'_k(v_k(n))$, por lo que el gradiente local puede definir las fluctuaciones en los pesos sinápticos.

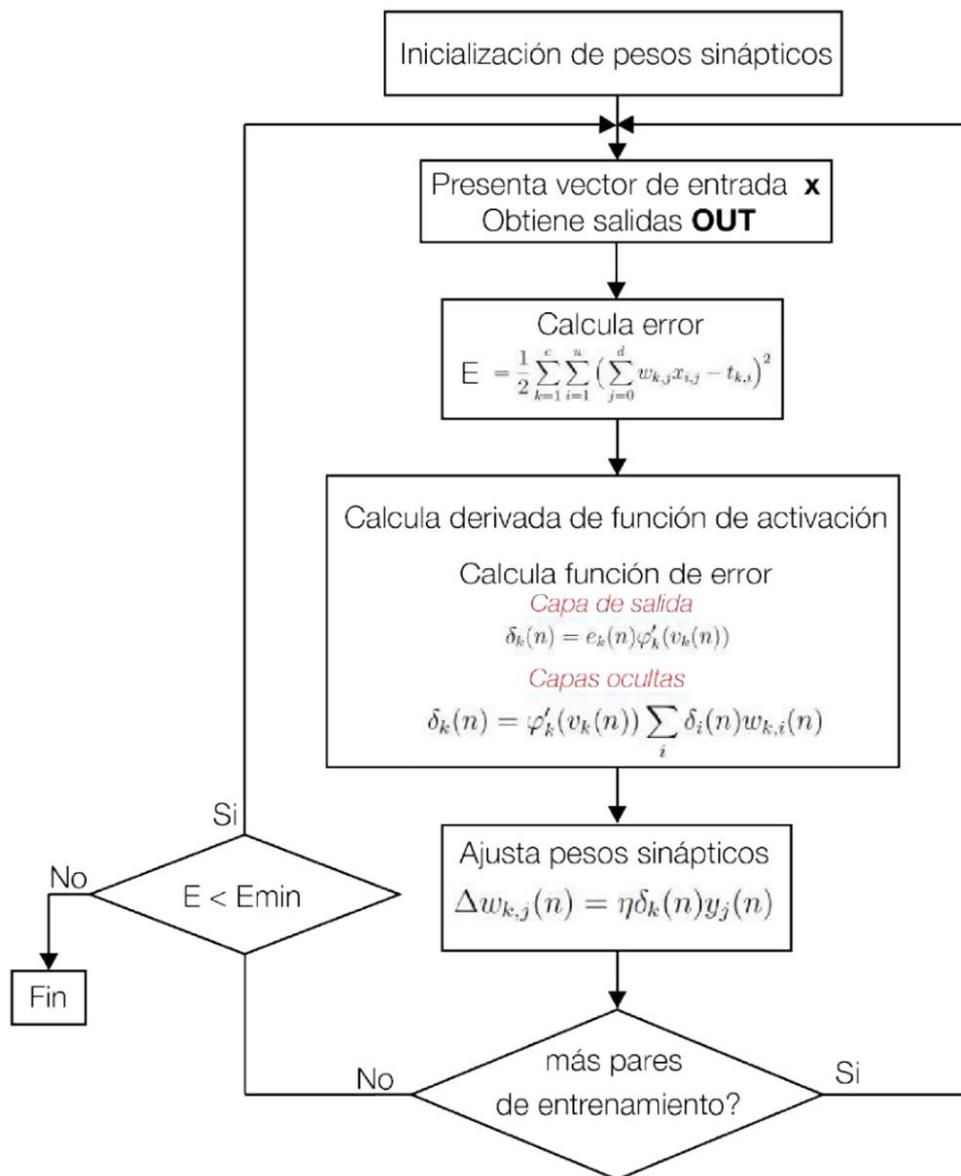
El error $e_k(n)$ en la salida para la neurona k viene a ser el factor más importante para el

proceso de los ajustes en los pesos sinápticos $\Delta\omega_{k,j}(n)$. En función de la localización de la neurona k se pueden encontrar 02 casos típicos: localización en la capa intermedia y en la capa de salida.

La función de error se calcula al comparar el vector de salida predicho por la red con los valores reales del vector objetivo, esto para el caso en que la localización de la neurona k se encuentre en la capa de salida para la red neuronal. Siendo que el gradiente local se calculó de forma directa con la ecuación anterior una vez determinado el error $e_k(n)$.

Figura 7.

Algoritmo de retro-propagación



Fuente: De Luca (2017)

En cambio, para el caso de la localización de la neurona k dentro de las capas intermedias, el valor real para el vector objetivo sería desconocido al no haberse alcanzado la capa de salida, por ello no se puede comparar con el vector de salida predicho por la red neuronal. Es por ello que al compararse debe ser de forma recursiva, quiere decir que el error de una determinada neurona en una capa intermedia es comparado con los errores de las neuronas de las capas intermedias anteriores que pueden conectarse con la neurona k escogida. El algoritmo de Backpropagation puede resumirse mediante el procedimiento graficado en la Figura 7 y determinarse por la expresión matemática en las neuronas para el cálculo del gradiente local $\delta_k(n)$ de una capa intermedia de una forma más óptima (Haykin, 2009).

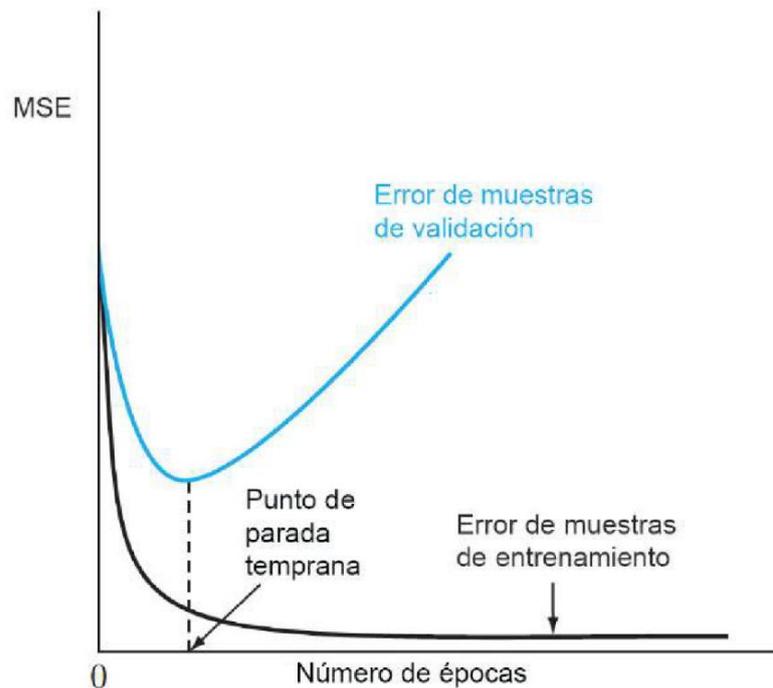
$$\delta_k(n) = \varphi'_k(v_k(n)) \sum_i \delta_i(n) \omega_{k,j}(n) \quad (25)$$

2.2.4. Proceso de entrenamiento y validación

En nuestro modelo de redes neuronales artificiales, los datos fueron distribuidos aleatoriamente entre los grupos de entrenamiento y validación para la etapa de aprendizaje. Durante la etapa de entrenamiento utilizamos el algoritmo de Backpropagation, es por ello que los pesos sinápticos se fueron adaptando a la vez que se iba realizando la minimización de la función de error, así como el error cuadrático medio disminuye progresivamente para cada época de entrenamiento. Los conjuntos de entrenamiento y validación estiman de manera bastante aproximada el comportamiento real a modelarse, por lo que se precisa que la obtención de buenos resultados está condicionada por la estructuración óptima de la red neuronal; siendo que para generar el valor más próximo a la realidad estas características mencionadas son necesarias pero no suficientes, debido a que se va creando una tendencia de autoperfeccionamiento de la red neuronal, siendo conocido como sobreajuste u *overfitting* del modelo durante la etapa de entrenamiento. Esto se ve reflejado cuantas más iteraciones se realicen, siendo que el modelo empieza a sobreajustar los datos de salida para el problema en específico constatándose a través del incremento del error en el conjunto de validación, mermando de esta manera la capacidad de generalización al probarse valores de entrada nuevos.

Figura 8.

Error en el conjunto de datos de entrenamiento y validación



Fuente: Haykin (2009)

Se procedió a verificar los valores de salida al momento de validar finalizando cada época luego de ajustados los pesos sinápticos para poder conseguir corregir el sobreajuste u *overfitting*. La interrupción del proceso de entrenamiento en el cual los errores del conjunto de validación empiezan a elevarse de forma exponencial se logra a través de este procedimiento en una época de iteración determinada. Este procedimiento de detención temprana viene a ser la herramienta más utilizada en la fase de entrenamiento y es conocido como *early stopping*, siendo usado como el método por excelencia para poder parar las iteraciones durante la época óptima y adaptándose en la actualidad intrínsecamente en los paquetes computacionales más conocidos (Prechelt, 1998).

2.2.5. Modelo del tipo Perceptrón Multicapa

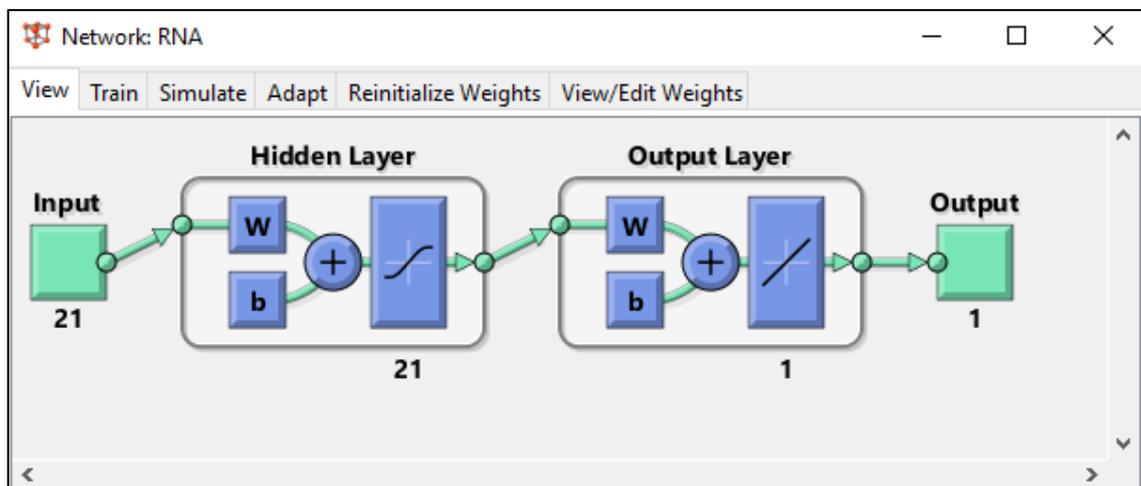
El modelo del tipo perceptrón de una única capa tiene la capacidad del cálculo de valores de salida solamente de los modelos linealmente separables según lo demostrado por Bishop (1995). Para la presente investigación será necesaria la utilización del modelo *multilayer perceptron* (MLP) o conocido como perceptrón multicapa, ya que se tiene una alta complejidad en relación al número de variables de entrada y la no linealidad que las caracteriza.

La recolección de los datos de entrada se realiza mediante un vector de entrada en la primera capa de este modelo y la capa final tiene como función la de proveer los valores de salida. El modelo de perceptrón multicapa (MLP) contiene un ilimitado número de capas ocultas o intermedias, esta cantidad de capas se definió debido a la problemática dada; siendo fundamental, ya que en estas capas intermedias se procesó la información.

La nomenclatura utilizada para el modelo de perceptrón multicapa (MLP) se compone de 03 valores $d:h:c$ con el fin de la identificación del número de variables de entrada, las neuronas contenidas en la capa oculta y las variables de salida respectivamente. Específicamente para el modelo de redes neuronales artificiales utilizado en esta investigación, se generó la nomenclatura 21: 21: 1 al utilizar la arquitectura de perceptrón multicapa (MLP), lo que significa que la capa inicial contiene 21 variables de entrada, la única capa intermedia contiene 21 neuronas y en la capa final se tendrá 1 variable de salida que finalmente es el valor económico contingente.

Figura 9.

Tipo de arquitectura basada en el perceptrón multicapa (MLP)



Fuente: Elaboración propia

El cálculo del número de pesos sinápticos o conexiones que fueron necesarias ajustar (n_w conocido como la complejidad de la red) fue en base a la siguiente fórmula, cuya nomenclatura para un modelo de perceptrón multicapa fue de $d:h:c$, donde el número de variables de entrada es representado por d , el número de neuronas en la capa intermedia se representa por h y finalmente el número de variables de salida se representa por c .

$$n_w = (d + 1) h + (h + 1)c \quad (26)$$

El modelo de perceptrón multicapa, siendo un algoritmo de aprendizaje supervisado, se caracteriza mediante una expresión matemática basada en los valores de entrada x y en el vector de los pesos sinápticos ω^T tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta\omega = -1/2(h(\omega^T x) - t_i)x_i \quad (27)$$

Los modelos de perceptrón multicapa precisan de una gran versatilidad, ya que pueden ser adaptados para solucionar una amplia gama de problemáticas (Alonso, 2014), como:

- **Predicción:** La predicción de los valores de salida al ser introducidos nuevos valores de entrada se realiza con gran fiabilidad mediante los modelos basados en regresiones lineales múltiples, ya que cuentan con una complejidad superior que les da la capacidad de pronosticar diferentes problemas condicionados a que tanto los valores de entrada como de salida deben ser conocidos.
- **Generalización:** Estos modelos de perceptrón multicapa tienen como objetivo el de interpolar los valores que no fueron entrenados anteriormente en base a una configuración producto del entrenamiento satisfactorio inicial.
- **Clasificación:** También se hace uso de estos modelos para la clasificación de un conjunto de información de entrada enfocada en la clusterización.
- **Filtrado:** Dentro de un conjunto de datos, se tiene la propiedad de purgar los datos que no tienen importancia, así como la capacidad de filtrado de un conjunto exorbitante de datos analizados por el modelo.
- **Asociación:** Estos modelos pueden completar o recuperar un patrón en base a los datos parciales del este, es decir, infieren los datos faltantes en base a una generalización de los datos conocidos.
- **Optimización:** La capacidad de hallar el máximo o mínimo de funciones en un tiempo computacional corto viene a ser una característica en estos modelos.

Los modelos del tipo de perceptrón multicapa (MLP) son usados comúnmente en la investigación de la valoración económica ambiental a nivel mundial ya que tiene un gran potencial para la predicción y generalización de una basta cantidad de datos, sustentándose de esta forma su uso adecuado en esta investigación

2.2.6. Valor económico ambiental de los servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos cuentan con el denominado valor económico ambiental que es declarado por cada involucrado en relación a sus percepciones individuales. Siendo que el valor económico total (VET) se obtiene al sumar el valor de uso (VU) y el valor de no uso (VNU). Se debe tener en cuenta que, el valor de uso (VU) se compone del valor de uso directo (VUD) y el valor de uso indirecto (VUI); y de forma análoga, el valor de no uso (VNU) se compone del valor de existencia (VE) y el valor de legado (VL) (Ministerio del Ambiente, 2015).

Figura 10.

Valor Económico Total



Fuente: Ministerio del Ambiente (2013)

Por lo que podemos ampliar la definición del valor de uso (VU) asociándolo con el uso directo o indirecto de los servicios ecosistémicos por parte de la sociedad, siendo ello cuantificado a través de un valor económico ambiental. Tal como fue mencionado, el valor de uso se compone del valor de uso directo e indirecto.

- **Valor de uso directo (VUD):** Cada individuo se beneficia directamente al usar los servicios ecosistémicos, denominando a ello como valor de uso directo, ya que, de forma similar a los servicios privados, su consumo es caracterizado habitualmente por la alta exclusión entre ellos.
- **Valor de uso indirecto (VUI):** Cada individuo se beneficia indirectamente al usar los servicios ecosistémicos, siendo que dichos beneficios podrían ser extrapolados a otros individuos, denominando a ello como valor de uso indirecto, ya que su consumo es caracterizado habitualmente por la baja exclusión entre ellos.

Es conocido que el valor de no uso (VNU) está directamente relacionado al deseo de legar los beneficios que aportan los ecosistemas a las futuras generaciones y a la posterior existencia misma de estos, siendo cuantificado también a través de un valor económico ambiental. Tal como se mencionó, el valor de no uso (VNU) se compone del valor de legado y de existencia.

- **Valor de legado (VL):** Esto se refiere a que los beneficios de los ecosistemas podrán ser disfrutados por las futuras generaciones al ser conservados en la actualidad y con el pasar de los años ser legados en su época, por lo que, la cuantificación de estos beneficios se conoce como el valor de legado.
- **Valor de existencia (VE):** La existencia de los ecosistemas tiene un valor económico intrínseco atribuido por la sociedad. Este valor existe sin importar si la sociedad no obtiene ningún beneficio directo o indirecto de ellos, incluso si es en el futuro o en la actualidad.

2.2.7. Métodos de Valoración Económica Ambiental

Son diversos los métodos de valoración económica ambiental que han estado perfeccionándose con la finalidad de poder cuantificar el valor económico de los servicios ecosistémicos parcialmente o de forma integral. Debe especificarse muy bien el tipo de servicio ecosistémico para valorar para escoger el método de valoración ambiental, así como también el objetivo de la valoración, el tipo de valor económico a cuantificar, la información existente disponible, la duración de la investigación, así como los recursos económicos disponibles, entre otros aspectos relevantes (Soliño et al., 2010). Cada uno de los métodos de valoración ambiental tiene ventajas y desventajas, por lo que luego de haber definido nuestros objetivos y el tipo de investigación en el Centro Histórico de Ayacucho, se optó por utilizar un tipo de método para conseguir el valor económico total (VET). Los métodos de precios hedónicos, costos de viaje y costos evitados son herramientas que únicamente determinan los valores de uso (VU); siendo necesaria para esta investigación estimar también los valores de no uso (VNU), por lo que finalmente se escogió el método conocido como valoración contingente.

En un contexto más general, los métodos de valoración económica ambiental se clasifican en 02 tipos en relación al comportamiento constatado en nuestra muestra. Por lo que se

tienen fundamentalmente a los métodos basados en las preferencias declaradas y a los métodos basados en las preferencias reveladas para la muestra estudiada. Los métodos de preferencias reveladas engloban a los métodos de precios hedónicos, costos evitados y costo de viaje; y los métodos de preferencias declaradas engloban esencialmente a los métodos de valoración contingente y elección declarada; así como a sus variantes indirectas: ranking, experimentos de elección y análisis conjunto (Vásquez et al., 2007).

Tabla 4.

Clasificación de los métodos de valoración ambiental de los servicios ecosistémicos

Método	Directo	Indirecto
Método de preferencias declaradas	Valoración contingente Elección declarada	Experimentos de elección Análisis conjunto Ranking contingente Comparación de pares
Método de preferencias reveladas	Precios hedónicos Costos de viaje Costos evitados	Precios de mercado Costos de reubicación Mercados simulados

Fuente: Ministerio del Ambiente (2016)

Tal como se mencionó, se escogió el método de valoración contingente enfocado en los servicios ecosistémicos para nuestra investigación por las razones previamente sustentadas. Siendo que la razón principal se debe a que este método permite hallar los valores de uso y no uso, es decir, el valor económico total (VET) del servicio ecosistémico estudiado. Así mismo, dentro de la valoración contingente tenemos un amplio número de modelos clásicos con base en la econometría que tienen muchas desventajas y con el pasar de los años se encuentran en desuso por la aparición de nuevas tecnologías, por lo que en este estudio se creará un modelo predictivo de valoración contingente basado en la herramienta de las redes neuronales artificiales.

2.2.8. Método de Valoración Contingente (MVC)

Dentro del campo de los métodos de preferencias declaradas se destaca el método de valoración contingente, partiendo de la simulación de un mercado hipotético y teniéndose como objetivo la valoración económica directamente de los servicios

ecosistémicos, se realizaron las encuestas enfocadas a una muestra determinada para poder recoger la percepción de los consumidores de los servicios ambientales. Es necesario recabar este valor económico ambiental para valorar los servicios ecosistémicos, determinando la disposición a pagar (DAP) y la disposición a aceptar (DAA) en función de la fluctuación en el estado de bienestar existente y esto se logra por medio del instrumento conocido como cuestionario. Ya se han realizado diversas investigaciones a lo largo de los años, resultando que la DAA tiende a ser mayor que la DAP al ser evaluado el servicio ambiental y demostrándose tanto de forma teórica como empírica. El nivel de ingreso del encuestado viene a ser la causa principal de la diferencia entre la DAP y DAA, debido a que la disposición a pagar tiene la limitación del ingreso del encuestado y, por el contrario, la disposición a aceptar no está limitada por dicho ingreso. Es por ello que para la presente investigación se utilizará el DAP ya que se recomienda que para lograr una capacidad mayor de generalización al tenerse un nuevo conjunto de datos en el modelo se deberá fijar un valor límite (Venkatachalam, 2004).

Tabla 5.

Ventajas y desventajas del Método de Valoración Contingente (MVC)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El método de valoración contingente cuenta con una capacidad enorme de estimar los valores de uso (VU) y los valores de no uso (VNU) de los servicios ecosistémicos. ▪ La simulación de un mercado hipotético es esencial ya que mediante ello se obtienen los valores económicos ambientales de los servicios ecosistémicos que no cuentan con un precio en el mercado real. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Al realizar la simulación del mercado hipotético, es recurrente encontrar sesgos instrumentales derivados del diseño y aplicación del cuestionario mencionado a través de la técnica de encuesta. ▪ La presencia de los sesgos no instrumentales también es frecuente, en relación al tipo de escenario planteado, así como al comportamiento de los individuos participantes del proceso de recolección de los cuestionarios.

Fuente: Ministerio del Ambiente (2016)

Tal como se mencionó, es fundamental dentro del método de valoración contingente la etapa de diseño del mercado hipotético simulado, ya que esto es logrado mediante la correcta elaboración del cuestionario, siguiendo las directrices a continuación:

- Fue simulado un mercado hipotético caracterizado de la forma más real posible en donde se introdujo al servicio ecosistémico a valorar.
- Fue establecido el conjunto de alternativas donde el involucrado pudo escoger la opción más idónea en base a su percepción individual.
- En el mercado hipotético fueron advertidos los derechos implícitos de propiedad de manera comprensible y transparente.

En relación a la generación de los sesgos instrumentales es fundamental prever medidas atenuantes para un diseño óptimo del cuestionario; entre los sesgos más comunes pueden mencionarse al sesgo de incrustación o *embedding*, sesgo de información, sesgo respecto al vehículo de pago, sesgo de punto de partida y sesgo del entrevistador. Para nuestra investigación fue más recurrente la generación de sesgos instrumentales y no instrumentales. Siendo que para el sesgo no instrumental se encontraron las dos clases más comunes: el sesgo de hipótesis vinculado a las características del mercado simulado y el sesgo de estrategia que se origina al haber un comportamiento de tipo *free rider*, cuando el involucrado se niega a pagar por un beneficio consumido de forma habitual.

Al recopilar información en relación a la máxima disposición a pagar (DAP) de cada uno de los encuestados para obtener una mejora de la calidad o la cantidad del servicio ecosistémico dispuesto en relación a un mercado hipotético podremos obtener el valor económico ambiental se obtiene. Se tuvo en cuenta dos condiciones durante el proceso:

- La información completa sobre los beneficios que obtiene por medio del servicio ecosistémico fue suministrada al encuestado. Por lo que siendo cumplida la condición, el involucrado reflejó su disposición a pagar real.
- El comportamiento del encuestado dentro del mercado simulado tiene que ser similar al comportamiento establecido en un mercado real. Por lo que siendo cumplida la condición, fue garantizada la toma de la decisión racional de la adquisición del beneficio del servicio ambiental por medio del pago cómo se llevaría a cabo en un mercado real.

Tal como fue mencionado, a través del instrumento de cuestionario y mediante la técnica para la recolección de datos de encuesta, se procedió a dividirla en tres módulos o

secciones tomando como directriz a lo estipulado en las directivas publicadas enfocadas en la valoración contingente:

- A) Dentro del primer módulo, se proporcionó la información primordial al encuestado sobre el servicio ecosistémico valorado, de forma que el involucrado se pudo familiarizar en primer lugar y llegar a conocer verdaderamente el mercado simulado para tal propósito.
- B) En el segundo módulo, a través del diseño para formular el formato de la interrogante fundamental con el objetivo de obtener la disposición a pagar (DAP) por parte del involucrado. Por esto, se debe plantear de manera clara y concisa la frecuencia de pago y la forma del desembolso, siendo adicionado al impuesto predial el monto anual como medio de pago para el caso en estudio.
- C) Por último, dentro del tercer módulo, se complementó la información con las características socioeconómicas de los individuos encuestados.

Para realizar el proceso de la técnica de encuesta tenemos los mecanismos usuales como la entrevista personal, entrevista telefónica, entrevista por correo y de forma menos común, los experimentos de laboratorio. En el presente estudio, se escogió el formato de entrevista personal, debido a que, gracias a dicha modalidad al realizar la encuesta, se pudieran recopilar los datos directamente soslayando los riesgos de la aparición de sesgos que pudiesen producirse al usar los otros mecanismos. El uso de material visual ayuda a complementar la encuesta y así despejarse las dudas por parte del encuestado; pero justamente por ello, la principal desventaja del mecanismo de entrevista personal se ve reflejada en el costo del procedimiento en comparación con los demás mecanismos y dicho costo se eleva aún más en función de la cantidad de encuestados.

El modelo del tipo dicotómico enfocado en la disponibilidad a pagar (DAP) fue desarrollado por Hanemann (1989) en donde asumió una función de utilidad (U) relacionado a la muestra. Esta función de utilidad (U) depende de las características socioeconómicas de la muestra en general (α), el estado actual del servicio ecosistémico (a) y del ingreso económico del encuestado (m):

$$U(a, m, \alpha) \tag{28}$$

A través de una función de utilidad inicial ($a = 0$) se representa al estado original del servicio ecosistémico, así mismo por medio de una función de utilidad final ($a = 1$) se representa al estado final.

Los encuestados pueden disfrutar de los beneficios de una mejora en la cantidad o calidad del servicio ecosistémico en estudio para el mercado simulado en base a un aporte económico expresado por (D). La función de utilidad $U_i(a, m, \alpha)$ cuenta con el componente determinístico siendo expresado mediante $v_i(a, m, \alpha)$ y del componente estocástico no observable expresado por ε_i para todas las simulaciones del mercado hipotético propuestas. Se tuvo en cuenta la utilización de los cuestionarios enfocados a los demandantes actuales con el fin de estimar el componente determinístico. Obtendremos la función de utilidad cambiando los términos para cada involucrado encuestado a través de la ecuación siguiente:

$$U_i(a, m, \alpha) = v_i(a, m, \alpha) + \varepsilon_i \quad (29)$$

El subíndice i dentro de esta expresión matemática representa al estado actual del modelo propuesto. Para mantener el escenario planteado en relación al servicio ecosistémico, si el individuo tenía una máxima disposición a pagar D , matemáticamente obtendremos:

$$v_1(a = 1, m - D, \alpha) > \varepsilon_1 = v_0(a = 0, m, \alpha) + \varepsilon_0 \quad (30)$$

$$v_1(a = 1, m - D, \alpha) - v_0(a = 0, m, \alpha) > \varepsilon_0 - \varepsilon_1 \quad (31)$$

Los términos ε_0 y ε_1 fueron utilizados para representar a las variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas para el estado inicial y final respectivamente. Así mismo, en base a la diferencia entre la función de utilidad inicial y la final podemos cuantificar la fluctuación de utilidad experimentada por el involucrado. Por medio del pago de una cantidad monetaria propuesta durante la encuesta, el beneficiario obtendrá una utilidad de la situación final dentro del mercado simulado.

$$\Delta v = v_1(a = 1, m - D, \alpha) - v_0(a = 0, m, \alpha) \quad (32)$$

$$\eta = \varepsilon_0 - \varepsilon_1$$

En función a la disposición a pagar (DAP), la respuesta del encuestado vino a ser una variable aleatoria dicotómica ya que solo se tuvieron 02 alternativas para responder, afirmación o negación. Por lo que la siguiente expresión matemática cuantifica la probabilidad de responder afirmativamente de parte del involucrado:

$$Prob(SÍ) = Prob(\eta \leq \Delta v) = F(\Delta v) \quad (33)$$

$$F(\Delta v) = \int_{-\infty}^{\Delta v} f(\eta) d\eta \quad (34)$$

Una expresión matemática para la probabilidad de que η sea menor o igual a Δv se determinó mediante la función de densidad $f(\eta)$; así también, la función de distribución acumulada se expresó a través de F . Ya definidos correctamente los límites de $v(i)$, y escogida la distribución para η , se procedió a determinar los parámetros de la fluctuación representada por Δv ya que fueron útiles para la estimación del pago necesario por parte de los involucrados, por lo que posteriormente se obtuvieron las respuestas a la interrogante dicotómica adicionando los datos complementarios sobre las características socioeconómicas de los encuestados (Haab y McConnell, 2002).

La representación matemática en donde tendremos un modelo usando la formulación mediante una función lineal en relación al ingreso económico de los encuestados fue desarrollada por Hanemann (1989); adicionando la distribución de probabilidad para η y siendo que $v(i) = \theta_i + \gamma m$ se obtendrá:

$$\Delta v = v_1 - v_0 = \theta_1 + \gamma(m - D) - (\theta_0 + \gamma m) \quad (35)$$

Simplificando esta representación:

$$\begin{aligned} \Delta v &= \theta_1 + \gamma m - \gamma D - \theta_0 - \gamma m \\ \Delta v &= (\theta_1 - \theta_0) - \gamma D \end{aligned} \quad (36)$$

Mediante θ_0 y θ_1 , se representan a los interceptos de nuestra función de utilidad durante los estados inicial y final respectivamente. Siendo que $\theta = \theta_1 - \theta_0$, entonces:

$$\Delta v = \theta - \gamma D \quad (37)$$

Conforme el ingreso se aumente, entonces el valor de la utilidad (v) se incrementará directamente, lo cual significa que teniendo que $\gamma > 0$ y cuanto más aumente el valor de D durante la encuesta, entonces la variabilidad Δv será menor y se minimizará de esta manera la probabilidad de que el involucrado responda de forma afirmativa.

El incremento de la posibilidad para estimar la fluctuación de la utilidad dentro del mercado simulado es realizado gracias a este modelo matemático. Por lo que, posteriormente se obtuvo el pago (D^*) que causa indiferencia por parte del involucrado ($\Delta v = 0$) y vino a ser similar a la variación en la utilidad (θ) relacionado directamente a la utilidad marginal del ingreso (γ), expresándose de la siguiente forma:

$$DAP = D^* = \frac{\theta}{\gamma} \quad (38)$$

Siendo que la expresión θ/γ representa al valor económico contingente recopilado de los encuestados relacionado al beneficio provisto por el servicio ecosistémico estudiado focalizado en el mercado simulado.

En base al trabajo de un abanico de expertos en el tema de valoración económica ambiental, la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA) publicó una guía metodológica que enfatiza los requisitos tanto teóricos como prácticos a los que se deben ceñirse a nivel internacional, todos los estudios enfocados en el método de valoración contingente para demostrar su validez. Dentro de las recomendaciones más importantes según estos expertos se recopilaron las siguientes (Arrow et al., 1993):

- Se usaron interrogantes de naturaleza dicotómica para incrementar la atención del involucrado, quiere decir respuestas con 02 opciones, afirmación o negación.
- Siendo que se demostró previamente que la utilización de la disposición a aceptar (DAA) nos produciría valores bastante elevados para esta clase de estudio, entonces en el modelo fue recomendable usar como vehículo de pago la disposición a pagar (DAP) ya que nos generó valores más conservadores.

- Se explicó el servicio ecosistémico a ser evaluado mediante una descripción adecuada en la investigación en donde se describieron las consecuencias de la simulación considerada y teniendo como objetivo eliminar la aparición de sesgos de incrustación esto fue fundamental debido a la posibilidad de compra de satisfacción moral en relación a la problemática ambiental.
- Para constatar que los involucrados aceptan y comprenden la descripción explicada del servicio ecosistémico en estudio fue importante la realización de la encuesta piloto en base a grupos focales, así mismo fue beneficioso para mejorar la claridad del cuestionario elaborado.
- El encuestado fue consciente sobre sus restricciones presupuestarias para la realización del pago anual, así como también de los beneficios que obtenidos del servicio ecosistémico.
- Para mostrar el mercado simulado con y sin proyecto, es más fructífero la utilización de ayudas visuales al realizar las encuestas personales.
- Si se obtiene una respuesta negativa para la disposición a pagar del involucrado, se recomienda buscar las causas, esto a través de interrogantes enfocadas al rechazo del pago por medio de alternativas plasmadas en la encuesta que pueda determinar los motivos colectivos de la muestra para el rechazo.
- Con la finalidad de que el involucrado considere con seriedad el pago realizado como una situación efectiva y real, por lo que el vehículo de pago reflejó un concepto de recaudación realista, descartando cualquier forma hipotética ya que se hubiesen producido sesgos.

2.2.9. Técnicas Estadísticas

Las técnicas estadísticas se basaron en el **diseño no experimental transversal**, motivo por el cual se utilizó la estadística descriptiva como primera etapa en el procesamiento de los cuestionarios recolectados, así como para los valores de la disposición a pagar recolectados, y así llevar a cabo un conjunto de técnicas estadísticas como distribución de frecuencias, de las medidas de tendencia central se hizo uso de la mediana, de las medidas de variabilidad si hizo uso de la desviación estándar y se complementaron los datos a través de gráficos explicativos.

Cómo segunda etapa se procedió a desarrollar la estadística inferencial, teniendo como finalidad la demostración de la generalización adquirida por nuestro modelo de redes

neuronales artificiales a través de la prueba t de Student para la verificación del análisis de medios; mediante esta prueba estadística paramétrica fue determinada la similitud de valores para el error cuadrático medio (MSE) respecto a los subconjuntos de información de entrenamiento y prueba. También se usó la prueba estadística paramétrica en base a la tabla ANOVA o análisis de varianza con el fin de calcular el error presente en el modelo de redes neuronales artificiales. Adicionalmente, ya que tuvimos datos del tipo ordinal y nominal se utilizó la prueba no paramétrica de Chi-Cuadrado. Por último, para obtener la medida de bondad del ajuste, en base a un modelo de regresión lineal múltiple generado, se hallaron los coeficientes de correlación y los intervalos de confianza para la varianza característica de los datos recopilados y procesados en el modelo.

Con la finalidad de que el modelo de redes neuronales artificiales pueda predecir el valor económico contingente correcto y más acorde a la realidad, fue necesario realizar un filtro a los datos considerados como parámetros de entrada para obtener resultados óptimos. En el presente estudio, se hizo uso de 180 cuestionarios (75% del total de los datos) para el entrenamiento y configuración del modelo de redes neuronales artificiales; y 60 cuestionarios restantes (25% del total de los datos) se utilizaron para validar el modelo predictivo mediante la comparación de los datos de salida conocidos. Finalmente consiguiendo la interpretación de resultados en función a las variables de entrada y la explicación de la interrelación entre ellas en base a coeficientes determinísticos dentro del modelo de redes neuronales.

2.3. MARCO LEGAL

La valoración económica ambiental del patrimonio natural y cultural ha ido cobrando relevancia durante los últimos años, mediante la aplicación y cumplimiento de la legislación ambiental en nuestro país, siendo una directriz para la creación de programas ambientales dirigidos al beneficio sostenible mediante el aprovechamiento producto de los servicios ecosistémicos y los recursos naturales. La recopilación de las normas nacionales vinculadas a los servicios ecosistémicos son la base para la planificación de este tipo de programas en los diferentes niveles de gobierno tanto nacional, departamental y distrital, fundamentándose principalmente en la metodología de valoración económica ambiental como núcleo para la gestión medioambiental requerida para contrarrestar la degradación ambiental tan marcada en nuestro país.

2.3.1. Ley General del Ambiente

Mediante Ley N° 28611-2005 se promulgó la Ley General del Ambiente. Dentro de su artículo 85 numeral 85.3, fue establecido que la Autoridad Ambiental Nacional, coordinando con las autoridades descentralizadas y sectoriales, debe elaborar e inventariar constantemente la cantidad de los servicios ambientales y los recursos naturales, determinando su valor característico (Ley N° 28611, 2005).

2.3.2. Ley de Creación, Organización y Funciones del MINAM

El Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales en base al Decreto Legislativo N° 1013-2008-MINAM, según el artículo 7, inciso p), tiene como la funcionalidad el establecimiento de mecanismos de valoración, retribución y preservación de los servicios ambientales (Decreto Legislativo N° 1013-MINAM, 2008).

2.3.3. Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente

El Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente es aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2017-MINAM. En este Decreto Supremo, fue dispuesta de que la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural (DGEVFPN) tiene como función el de promover y formular la política, planes, estrategias, instrumentos, normas y directivas de carácter nacional, en coordinación con las entidades competentes, con el fin de evaluar y valorar la diversidad biológica, los recursos naturales disponibles, los servicios ambientales y su estado actual de degradación (Decreto Supremo N° 002-MINAM, 2017).

2.3.4. Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Conforme a la Ley N° 27446-2001, con modificación según Decreto Legislativo N° 1078, dentro de su artículo 10, numeral 10.1, inciso f, se destaca la necesidad e importancia de la valoración económica ambiental del impacto ambiental como referencia necesaria dentro del Estudio de Impacto Ambiental (EIA). También se precisa que serán tomados en cuenta para la aprobación de los Estudios de Impacto Ambiental del SEIA los criterios y metodologías que, aprobados por el MINAM, estipulado en su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, dentro de su artículo 25. Será requerido el uso de la valoración ambiental, sin perjuicio de la potestad con la que dispone la autoridad competente encargada de la evaluación del estudio ambiental, en función de que la situación lo amerite, también podrá recomendar la utilización de metodologías

alternativas y criterios plenamente sustentados de forma técnica; siendo que en su artículo 26 está contemplada la valoración económica del impacto ambiental en los proyectos de inversión (Ley N° 27446, 2001).

2.3.5. Política Nacional del Ambiente (PNA)

La Política Nacional del Ambiente es el cimiento para formular la Agenda Nacional de Acción Ambiental (Agenda Ambiente), el Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA) e instrumentos adicionales para la gestión pública ambiental ceñido al Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA). La implementación de instrumentos de evaluación, valoración y financiamiento para conservar la diversidad biológica, los recursos naturales y servicios ecosistémicos se realiza a través de esta herramienta de proceso estratégico en el Perú. También se encarga de la exhortación para la aplicabilidad de metodologías de valoración económica ambiental vinculadas a los servicios ecosistémicos, todo ello basado en el Decreto Supremo N° 012-2009-MINAN (Decreto Supremo N° 012-MINAM, 2009).

2.3.6. Plan Nacional de Acción Ambiental - PLANAA PERÚ: 2011-2021

Se aprobó el Plan Nacional de Acción Ambiental, mediante el Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM, alineado a la Política Nacional del Ambiente, que tiene como función el de evaluar, inventariar y valorar el patrimonio natural con el fin de tener una gestión sostenible, articulación y conservación de las Cuentas Ambientales (Decreto Supremo N° 014-MINAM, 2011).

2.3.7. Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural

Mediante la Resolución Ministerial N° 409-2014-MINAM se aprueba la Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural del Ministerio del Ambiente, siendo la finalidad principal la generación de una orientación para la aplicación y la metodología sobre la valoración económica ambiental del patrimonio natural, con el objetivo de que al tomar una decisión se pueda utilizar esta guía como parámetro para la conservación y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural. Es preciso comentar que en la Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural, se logran identificar hasta tres etapas para el proceso de valoración económica: acciones preparatorias, valoración económica y postvaloración económica (Ministerio del Ambiente, 2016).

III. Capítulo III: MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

De acuerdo a la intervención del investigador se trata de un estudio observacional, porque no se manipula la variable de investigación denominada servicio ecosistémico (variable causa).

En base a la planificación de las mediciones se trata de estudio prospectivo, ya que la información que se recopila para la variable denominada valoración económica (variable efecto) fue a través de la técnica de encuesta mediante el instrumento cuestionario, investigando de esta manera las variables de estudio en torno a la creación de un mercado hipotético cuyo punto de partida ocurre antes a los hechos investigados.

De acuerdo al número de mediciones nuestra variable de estudio denominada servicio ecosistémico siendo del tipo transversal para los datos cualitativos relacionados a la importancia del servicio ecosistémico estudiado, siendo el instrumento utilizado el cuestionario, ya que los datos fueron recabados en un punto determinado del tiempo basados en que se debe calcular un valor representativo distinto para cada año para ser usado en políticas de mitigación ambiental, todo ello basándonos en las directivas de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA) (Arrow et al., 1993).

En base al número de variables analíticas se trata de un estudio analítico, ya que se tienen dos variables; el servicio ecosistémico (variable causa) y valoración económica ambiental (variable efecto).

3.1.2. Nivel de Investigación

Se trata de un estudio explicativo porque existe una relación directa demostrada en estudios anteriores entre el servicio ecosistémico, y sus dimensiones servicio ecosistémico de regulación y cultural, con la valoración económica ambiental y sus dimensiones de medidas de bienestar con variación equivalente y compensada. Por lo que

se pretende explicar la causalidad de dicha relación obteniendo un valor económico ambiental del servicio ecosistémico analizado.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el diseño de la investigación se planteó la estrategia de acuerdo a un **diseño no experimental transversal**. Para ello se requirió no manipular la variable independiente de forma intencionada ya que en su ambiente natural los efectos ya ocurrieron. La propia esencia de la metodología de valoración contingente fue determinante para la elección del tipo de diseño, siendo que la dimensión temporal de recolección de información fue transversal y buscando necesariamente la disposición a pagar (DAP) sin la intervención del investigador, mermando la subjetividad del estudio.

La toma de datos se realizó mediante un trabajo de campo y posteriormente se procesaron en gabinete. Mediante la encuesta se recopilaban datos cualitativos relacionados al servicio ecosistémico de regulación y cultural; para luego utilizar el modelo de redes neuronales artificiales obteniendo un valor económico ambiental, contrastando las hipótesis mediante técnicas de estadística inferencial, finalmente concluyendo si los diferentes indicadores de los servicios ecosistémicos investigados afectan de forma considerable este valor económico ambiental y las causas de esta relación entre estas dos variables.

3.3. VARIABLES

3.3.1. Definición conceptual de variables

VARIABLE CAUSA

Servicio ecosistémico: Es considerado como el beneficio a la sociedad aportado por un ecosistema y es clasificado como servicio de regulación y cultural; el valor del servicio viene a ser asignado por la sociedad.

DIMENSIONES

Servicio ecosistémico de regulación: Es considerado como el beneficio obtenido directamente de los ecosistemas, sin pasar por los procesos de transformación. Por ende, el servicio escogido para el presente estudio fue la calidad ambiental para el aire.

Servicio ecosistémico cultural: Es considerado como el beneficio tangible o intangible obtenido de los ecosistemas en el aspecto cultural y social. Por ende, el servicio escogido para el presente estudio fue la recreación y el turismo.

VARIABLE EFECTO

Valoración económica ambiental: Se define como el proceso durante el cual se asignan valores cuantitativos monetarios por los servicios ecosistémicos en relación a los cambios en el bienestar, siendo cuantificados en base a las medidas de bienestar con variación compensada y equivalente.

DIMENSIONES

Medidas de bienestar con variación compensada: Son consideradas como la cantidad monetaria máxima que una persona estaría dispuesta a pagar para poder beneficiarse de un cambio favorable, o bien la cantidad monetaria mínima que estaría dispuesta a aceptar como compensación por un cambio desfavorable.

Medidas de bienestar con variación equivalente: Son consideradas como la cantidad monetaria máxima que una persona estaría dispuesta a pagar para poder evitar un cambio desfavorable, o bien la cantidad monetaria mínima que estaría dispuesta a aceptar como compensación por renunciar a un cambio favorable.

3.3.2. Definición operacional de variables

VARIABLE CAUSA

X: Servicio ecosistémico

(Variable subjetiva)

DIMENSIONES

X1: Servicio ecosistémico de regulación

X2: Servicio ecosistémico cultural

VARIABLE EFECTO

Y: Valoración económica ambiental

(Variable objetiva)

DIMENSIONES

Y1: Medidas de bienestar con variación compensada

Y2: Medidas de bienestar con variación equivalente

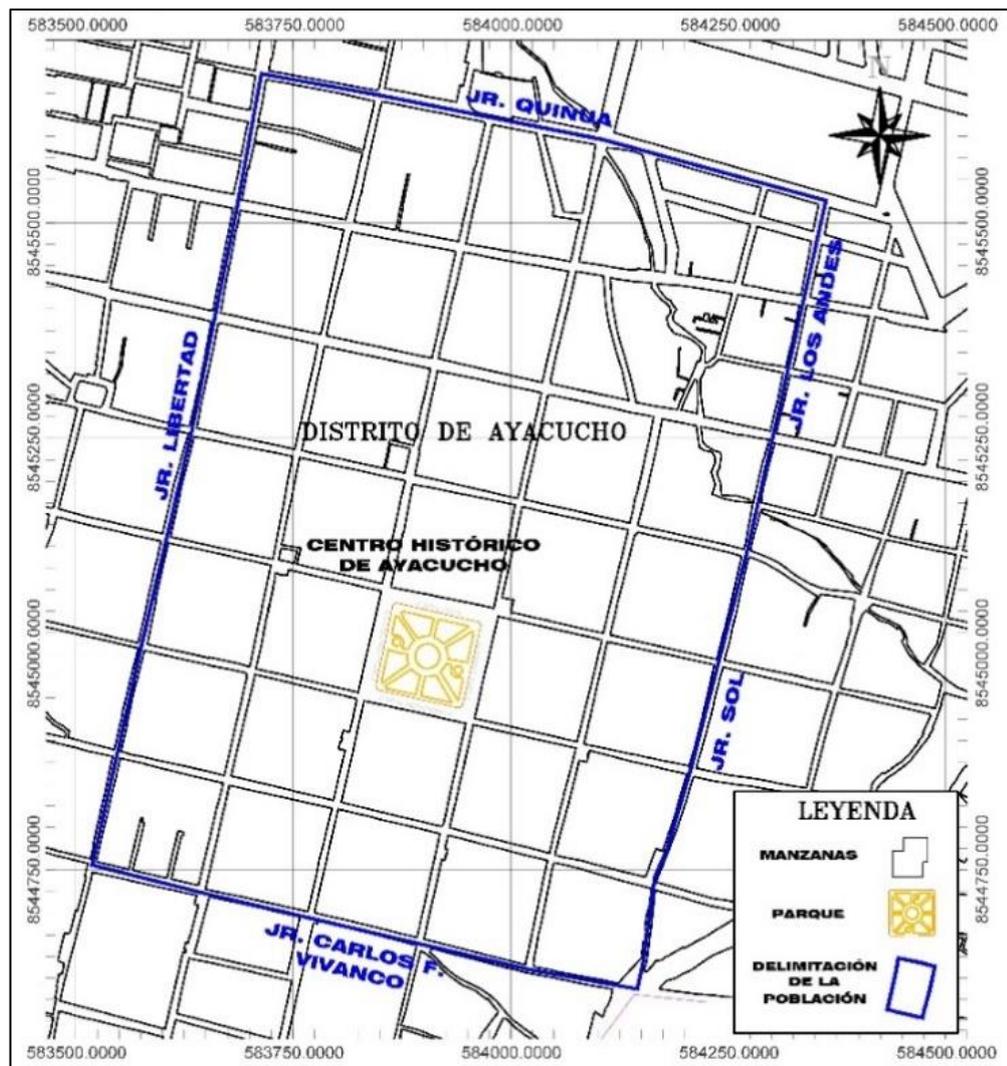
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

Para nuestra investigación, la población estuvo conformada por 485 individuos dedicados a la actividad comercial, que son demandantes de los servicios ecosistémicos en el Centro Histórico de Ayacucho, en el año 2021.

Figura 11.

Localización geográfica para la zona de investigación



Fuente: Adaptado desde el plano catastral de la Municipalidad Provincial de Huamanga (2016).

Se escogió al anillo vial central en el Centro Histórico de Ayacucho, debido a que es la zona representativa para el desarrollo del estudio, conformado por el Jr. Libertad, Jr. Quinua, Jr. Sol, Jr. Los Andes y Jr. F. Vivanco, donde en la actualidad los individuos que trabajan o residen en dicha zona se dedican principalmente a la actividad comercial.

Tabla 6.

Delimitación de la población de estudio

Calle en estudio	Margen Derecha	Margen Izquierda	Total (Viviendas)
Jr. Libertad	93	77	170
Jr. Quinua	13	47	60
Jr. Sol y Jr. Los Andes	84	70	154
Jr. F. Vivanco	38	63	101
TOTAL			485

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. Muestra

Mediante la técnica de selección aleatorio simple fue realizado el muestreo probabilístico con el fin de elegir a los encuestados teniendo un nivel de confianza del 95% y con un error máximo aceptable del 5%, resultando una muestra de 214 individuos demandantes de los servicios ecosistémicos que realizan comercios en el anillo vial central del Centro Histórico de Ayacucho durante el año 2021.

Usando procedimientos y criterios demostrados en base a diseños muestrales de estudios contrastados, se realizó la selección de la muestra (Tamayo, 2001). En donde el tamaño del muestreo dentro del Centro Histórico de Ayacucho se expresó en base al número de encuestas realizadas, a través de la expresión matemática siguiente:

$$n = \frac{Z^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z^2 p q} \quad (39)$$

La constante Z se vincula mediante el nivel de confianza escogido (siendo un nivel de confianza del 95% con un valor de 1.96), asimismo el tamaño de la muestra fue representado mediante n , el error muestral buscado fue expresado a través de e (ya que para nuestra investigación escogimos un error del 5%), también p expresa la proporción

de nuestra población que viene a cumplir con los criterios de selección del estudio y finalmente q representó a la proporción de nuestra población que no llegó a cumplir con los criterios planteados. Es usual asumir que tanto los valores de p como q no son conocidos, por lo cual es asumida una proporción equivalente ($p = q = 0.5$).

Se obtuvo a través de esta ecuación la muestra de 214 individuos que deberían ser encuestados. Aunque se tuvo en cuenta que existía la posibilidad de recolectar cuestionarios vacíos sin respuesta considerándolos como respuesta de protesta basada en una razón motivada, asimismo se presumió que se recogerían encuestas incompletas sin responderse en la totalidad; en base a estas razones, se tuvo que ampliar el tamaño de muestreo finalmente a 270 individuos encuestados.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍTEM
Servicio ecosistémico	Es considerado como el beneficio que un ecosistema aporta a la sociedad y es clasificado como servicio de regulación y cultural ; el valor del servicio es asignado por la sociedad.	Servicio ecosistémico de regulación (Calidad del aire)	Importancia del servicio ecosistémico	¿Qué importancia tiene para usted la calidad del aire?
			Prioridad de la mejora del servicio ecosistémico	¿Qué prioridad tiene para usted la mejora de la calidad del aire?
			Influencia del servicio ecosistémico	¿Qué influencia tuvo para usted la calidad del aire en la zona al adquirir la vivienda?
			Información sobre servicio ecosistémico	¿Cuán informado se encuentra usted acerca de los beneficios de la mejora de la calidad del aire?
			Percepción individual sobre servicio ecosistémico	¿Cuál es el nivel en la calidad del aire en la zona según su percepción individual?
		Servicio ecosistémico cultural (Recreación y	Importancia del servicio ecosistémico	¿Qué importancia tiene para usted la recreación y el turismo?
			Prioridad de la	¿Qué prioridad tiene para usted

		turismo)	mejora del servicio ecosistémico	la mejora de la recreación y el turismo?
			Influencia del servicio ecosistémico	¿Qué influencia tuvo para usted la recreación y el turismo en la zona al adquirir la vivienda?
			Información sobre servicio ecosistémico	¿Cuán informado se encuentra usted acerca de los beneficios de la recreación y el turismo?
			Percepción individual sobre servicio ecosistémico	¿Cuál es el nivel de recreación y turismo en la zona según su percepción individual?

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.6.1. Técnicas

Se hizo uso de la técnica de encuesta enfocada hacia las personas residentes o dedicadas esencialmente a la actividad comercial, recolectando de esta forma datos sobre el servicio ecosistémico de regulación y cultural en el Centro Histórico de Ayacucho.

3.6.2. Instrumentos

El instrumento utilizado fue el cuestionario mostrado en los anexos de este estudio, instrumento contrastado y demostrado internacionalmente de aplicación a la valoración contingente y siendo adaptado según el tipo de servicio ecosistémico estudiado en cada país mediante su propia legislatura y directrices propias. Este método viene a ser publicado frecuentemente por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA) (Arrow et al., 1993). Gracias al instrumento adaptado, fue posible la recolección de datos cualitativos vinculados a los servicios ecosistémicos de regulación y culturales, siendo que se miden en una única ocasión debido a que con el pasar de los años el valor representativo varía y es usado para la generación de políticas de mitigación ambiental para el año preciso de investigación, y para nuestro caso, las encuestas fueron enfocadas a los individuos dedicados a la actividad comercial en el Centro Histórico de Ayacucho.

3.6.3. Confiabilidad del instrumento

Mediante el instrumento de cuestionario se obtuvieron los datos de la muestra, como se mencionó, este cuestionario es utilizado internacionalmente y fue creado por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA). Pudimos recoger datos cualitativos relacionados al servicio ecosistémico de regulación y cultural, posteriormente se realizó la prueba Alfa de Cronbach para demostrar la consistencia implícita de la escala de Likert para nuestro cuestionario según directivas que son publicadas periódicamente. Dado que se cuantifican las características de la metodología, planteándose la configuración de un sistema de medición permanente, por lo que se contextualiza la correlación de cada uno de los elementos pertenecientes al conjunto de variables politómicas, y partiendo de sus características individuales nos permiten remarcar la propiedad aditiva en las preguntas articuladas en el cuestionario enfocado a los servicios ecosistémicos.

Por lo que finalmente se hizo uso de un instrumento cuya confiabilidad quedó previamente demostrada por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA).

3.6.4. Validación del instrumento

Mediante el instrumento de cuestionario enfocado a los servicios ecosistémicos se obtuvieron los datos de la muestra, por lo que fue esencial constatar la validez de criterio y la validez de contenido. Para la validez de criterio se realizó una correlación de la métrica interna y la métrica externa, siendo que la métrica interna proporcionó información sobre los servicios ecosistémicos de regulación y culturales, proporcionada por los profesionales que valoran estos servicios a nivel internacional y la métrica externa proporcionó información desde la perspectiva individual de los encuestados y la valoración que los individuos deducen en relación a sus ingresos económicos. Así mismo, para la validez de contenido se necesitó recurrir al juicio de expertos concluyendo que el instrumento diseñado para obtener datos en relación a los servicios ecosistémicos de regulación y culturales, permite recabar estos datos de forma correcta.

Por lo que finalmente se hizo uso de un instrumento cuya validez quedó previamente demostrada por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA).

3.7. PROCEDIMIENTOS

3.7.1. Estrategia de la Prueba de Hipótesis

En base a la estrategia planificada, se hizo la formulación de la hipótesis nula (H_0), en donde al cuantificar el servicio ecosistémico determinaremos que no influye en la valoración económica ambiental y, la hipótesis alterna (H_1) donde al cuantificar el servicio ecosistémico determinaremos que influye en la valoración económica ambiental.

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, nos planteamos si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, nos planteamos si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Se hicieron uso tanto de pruebas paramétricas como no paramétricas para la contrastación de la hipótesis de nuestro modelo de redes neuronales artificiales. Asimismo, nos basamos en la estadística inferencial con la finalidad de demostrar la capacidad de generalización y predicción del algoritmo basado en las redes neuronales artificiales verificando el análisis de medios con la prueba t de Student; la prueba estadística paramétrica nos ayudó a determinar la similitud de las cantidades del error cuadrático medio (MSE) para los subconjuntos de entrenamiento y prueba. También se usó la prueba estadística paramétrica para la determinación del error total en nuestro algoritmo en base al análisis de varianza o Tabla ANOVA. Adicionalmente, se utilizó la prueba no paramétrica conocida como Chi-Cuadrado ya que tenemos datos del tipo ordinal y nominal. Por último, se hallaron los intervalos de confianza de la varianza, así como los coeficientes de correlación para tener una medida de bondad del ajuste en base a la generación de un modelo de regresión lineal múltiple.

3.7.2. Técnicas para el Procesamiento de Datos

Por medio de fórmulas estadísticas se realizó el procesamiento de los datos haciendo uso de programas informáticos como los softwares Matlab, R, Excel y SPSS para calcular el promedio, la desviación estándar, la varianza, los coeficientes de

correlación y la dispersión de los datos, para finalmente permitir la elaboración de las proyecciones e inferencias enfocado al valor económico ambiental del servicio ecosistémico investigado.

3.7.3. Diseño Estadístico

Para el diseño estadístico nos basamos en un *diseño no experimental transversal*, por lo que se utilizó la estadística descriptiva como primera etapa para realizar el procesamiento de los datos obtenidos del cuestionario, así como para los valores de la disposición a pagar recolectados, y así llevar a cabo un conjunto de técnicas estadísticas como distribución de frecuencias, de las medidas de tendencia central se hizo uso de la mediana, de las medidas de variabilidad se hizo uso de la desviación estándar y se complementaron los datos a través de gráficos explicativos.

Cómo segunda etapa se procedió a desarrollar la estadística inferencial, teniendo como finalidad la demostración de la capacidad de generalización del algoritmo basado en redes neuronales artificiales a través de la prueba t de Student para la verificación del análisis de medios; la similitud de las cantidades del error cuadrático medio (MSE) fue determinada mediante esta prueba estadística paramétrica para los subconjuntos de datos.

3.7.4. Técnicas de Análisis e Interpretación de los Datos

Las técnicas de análisis e interpretación de los datos se basaron en el uso de la estadística descriptiva para obtener la distribución de frecuencias, para las medidas de tendencia central se hizo uso de la mediana, para las medidas de variabilidad se hizo uso de la desviación estándar y se complementaron los datos a través de gráficos explicativos.

Fue necesario realizar un filtro a los datos considerados como parámetros de entrada para obtener resultados óptimos. En el presente estudio, se hizo uso del 75% (180 cuestionarios) de los datos de entrada para el entrenamiento y configuración del algoritmo de redes neuronales y el 25% (60 cuestionarios) de datos de entrada restantes se utilizaron para validar el modelo predictivo mediante la comparación de los datos de salida conocidos. Resultando esencial para la interpretación de los resultados de cada una de las variables de entrada y la explicación de la interrelación entre ellas en base a coeficientes determinísticos en nuestro modelo de redes neuronales.

3.8. DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS

3.8.1. Cuestionario sobre la Valoración Económica Contingente

La oferta fue representada por el investigador que elabora la encuesta y el encuestado que responde la encuesta y que hace uso del servicio ecosistémico representaría a la demanda, por lo que los cuestionarios simulan un mercado hipotético para el método de la valoración contingente. El método de la valoración contingente en nuestra investigación tiene la ventaja de que la afectación de los no usuarios si llegan a cuantificarse, aventajando a otros métodos tales como costo del viaje o precios hedónicos. El proceso correcto al cuantificar la supresión de la utilidad de las personas que no se benefician inmediatamente de los servicios ecosistémicos fue por medio de la valoración contingente, siendo que esas personas predisponen de una disposición a pagar para tener la opción de gozar de estos beneficios a futuro. Debido a esto se sustentó escoger dicha metodología para la construcción del cuestionario (Arrow et al., 1993).

El Reporte para Valoraciones Contingentes elaborado y publicado por los expertos de la NOAA fue la base para el desarrollo del cuestionario (Adamowicz & Graham-Tomasi, 1991), dividiendo el cuestionario en 03 módulos:

- Descripción del servicio ecosistémico a valorar.
- Valoración del servicio ecosistémico.
- Información sobre el individuo entrevistado.

La primera parte del cuestionario se enfocó en la descripción del servicio ecosistémico que se buscaba valorar, siendo que este bloque tiene como función familiarizar al encuestado con el mercado hipotético simulado en evaluación. No es aconsejable abordar la pregunta de valoración directamente aún en el caso de que el encuestado esté perfectamente familiarizado con el servicio. Para el presente estudio se valoró la experiencia de cada encuestado frente al servicio estudiado, para lo cual se evaluó tanto el servicio ecosistémico de regulación como el servicio cultural en el lugar de investigación, por ello se buscó analizar la evaluación subjetiva individual de los perjuicios ocasionados por las externalidades en relación a los servicios ecosistémicos, y los efectos percibidos por cada encuestado al recolectar datos con el cuestionario elaborado.

En nuestra investigación, el servicio ecosistémico de regulación se refirió esencialmente a la calidad del aire y el servicio ecosistémico cultural se enfocó a los beneficios producidos mediante la recreación y turismo; siendo que los dos servicios ecosistémicos estudiados se enfocan en la zona circundante al Centro Histórico de Ayacucho. Consecuentemente se plantearon 10 interrogantes en torno a estos aspectos:

1. Importancia de la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho.
2. Importancia de la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho.
3. Prioridad de la mejora de la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho.
4. Prioridad de la mejora de la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho.
5. Influencia de la calidad del aire como factor determinante en la elección de la vivienda en el Centro Histórico de Ayacucho.
6. Influencia de la recreación y el turismo como factor determinante en la elección de la vivienda en el Centro Histórico de Ayacucho.
7. Conocimiento sobre los beneficios de la mejora de la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho.
8. Conocimiento sobre los beneficios de la mejora de la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho.
9. Percepción individual sobre la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho.
10. Percepción individual sobre la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho.

En la segunda parte del cuestionario se realizaron las preguntas a los involucrados acerca del valor económico ambiental de la problemática investigada, para ello se simuló un mercado hipotético donde se manifestó la disposición a pagar (DAP) con tal de beneficiarse de un servicio ecosistémico de regulación y cultural con una calidad preestablecida. Este es el módulo donde fue abordado el módulo esencial del cuestionario, por lo que es la interrogante fundamental en el proceso de valoración contingente.

Los encuestados expresaron su disposición a pagar (DAP) basándose en un valor monetario simulando por medio de un vehículo de pago conocido por ellos. Angarita

(2016) advierte que, en Sudamérica suele pagarse las tasas por los servicios públicos del tipo social y ambiental (gestión de residuos sólidos, gastos municipales de recolección y alumbrado público) en donde son cobrados directamente a sus facturas de los servicios básicos (agua potable y energía eléctrica) y mediante impuestos municipales (impuesto predial), habiendo la posibilidad de abonarse en cuotas anuales o mensuales en función del tipo de servicio. El vehículo de pago escogido abonado a la Municipalidad Provincial de Huamanga para la valoración contingente del presente estudio se estableció como el cobro adicional dentro del impuesto predial.

Tabla 7.

Rango generado de valores umbrales (bid values) derivados de la encuesta piloto

VARIABLE	VALOR ECONÓMICO	OPCIÓN
DAP	S/. 0.00 soles	1
	S/. 12.00 soles	2
	S/. 24.00 soles	3
	S/. 36.00 soles	4
	S/. 48.00 soles	5
	S/. 60.00 soles	6
	S/. 72.00 soles	7
	Mayor a S/. 72.00 soles	8

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la investigación realizada por Riera (1994), se precisa que la valoración contingente es realizada al simular un mercado en donde son presentados los métodos de pago por el servicio ecosistémico a valorar. Esencialmente, en la simulación del mercado de este estudio se especificó que el proceso de recaudar, administrar y fiscalizar este impuesto estaría a cargo de la autoridad local en la zona donde se ubican cada uno de los predios afectados. La SAT-Huamanga, adscrita a la Municipalidad Provincial de Huamanga, se encargaría de la recaudación del Impuesto Predial de las viviendas

ubicadas en su jurisdicción. Siendo que la periodicidad del Impuesto Predial es anual y llega a gravar el valor de los predios tanto urbanos como rústicos pertenecientes a una persona natural o jurídica; de manera similar, el rango de valores de la simulación del mercado se modeló de forma anual (Decreto Supremo N° 156-MEF, 2004).

Existió la posibilidad para elegir la interrogante abierta para la valoración, pero se recomienda debido a podría ocasionar distorsiones sobre la percepción del valor real en los individuos encuestados, esto motivó a que en esta investigación se utilizará una interrogante de valoración del tipo referéndum. Los valores umbrales (bid values) fueron derivados en base a una encuesta piloto realizada, la cual fue realizada durante cuatro días (del miércoles 15 de enero hasta el sábado 18 de enero en el año 2020), antes de la pandemia del COVID-19 que afectó al mundo entero. En este periodo se obtuvieron datos para generar los rangos de valores umbrales a través de interrogantes de formato abierto por medio del valor económico y, adicionalmente desechar las interrogantes que tendían a generar un peso sináptico ínfimo como valor de entrada al modelo preestablecido.

Figura 12.

Realización de la encuesta piloto en el mes de enero del año 2020



Fuente: Elaboración Propia

Al finalizar correctamente con la encuesta piloto, los rangos definitivos fueron generados, así como las preguntas primordiales escogidas en base del concepto de ganancia para cada variable de ingreso al algoritmo de redes neuronales artificiales, posteriormente se construyó el cuestionario para nuestra investigación con las preguntas con mayor relevancia y los rangos estudiados en el mercado de la encuesta piloto. La recolección de datos en base al cuestionario elaborada, siendo la encuesta realizada durante cuatro días

(del miércoles 12 al sábado 15 de mayo del año 2021), precisando la relevancia de las variables de ingreso, así como la variación de la ganancia comparada con los datos recopilados de la encuesta piloto del año 2020. Comprobando de esta forma que las cantidades no se vieron alterados por la externalidad del COVID-19, aun así, fue necesaria la actualización del rango de valores contrastados con el año actual de investigación.

Figura 13.

Realización de la encuesta final en el mes de mayo del año 2021



Fuente: Elaboración Propia

Son numerosas las decisiones tomadas en esta instancia, por lo cual se formuló la interrogante sobre el valor monetario que estuvo dispuesto a pagar (DAP) para obtener los beneficios del servicio ecosistémico planteado. Por ende, se desarrollaron 06 interrogantes enfocadas en las siguientes premisas:

11. Importancia dada por la Municipalidad Provincial de Huamanga a la mejora de la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho.

12. Importancia dada por la Municipalidad Provincial de Huamanga a la mejora de la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho.
13. Afectación a la salud física de los ocupantes de la vivienda debido a la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho.
14. Afectación a la salud mental de los ocupantes de la vivienda debido a la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho.
15. Decisión personal sobre la disposición a pagar (DAP) en relación a un monto adicional al impuesto predial resultante de la simulación del mercado.
16. Valoración económica ambiental del servicio ecosistémico total mediante la disposición a pagar (DAP).

Para finalizar, en la tercera parte se recolectó los datos demográficos, geográficos y socioeconómicos del individuo encuestado. Siendo preciso acotar que la presente sección fue dispuesta al último del cuestionario, por la razón de que es rápida y sencilla de contestar y de esta forma el cansancio que pudo producir el cuestionario, afectó mínimamente las respuestas. Tampoco es aconsejable consultar sobre la identidad del encuestado siendo que, en la valoración contingente se tiene como objetivo la simulación de un mercado hipotético en el cual los encuestados mantienen un perfil privado y confidencial para que puedan declarar un valor económico ambiental real sin la influencia de los sesgos producidos por el temor de que se divulguen las respuestas individuales. Es por ello que se buscó recolectar la información de mayor relevancia:

17. Género.
18. Rango de edad.
19. Nivel de estudios.
20. Niveles o pisos de la vivienda.
21. Tipo de material predominante en la vivienda.
22. Cantidad de personas que residen o trabajan permanentemente en la vivienda.
23. Ingreso económico familiar total.

3.8.2. Recolección de información e identificación de las variables de diseño

Dentro del ámbito de influencia del Centro Histórico de Ayacucho, se recolectaron datos a través de las encuestas, siendo fundamental que se construyera un cuestionario consistente con anticipación identificándose las variables de diseño.

Para la elección de los participantes se optó por el muestreo probabilístico mediante la técnica de selección aleatoria simple contando con el nivel de confianza del 95% obteniéndose un error máximo aceptable de 5%, resultando de esta manera una muestra de 214 individuos dedicados a la actividad comercial que son demandantes de los servicios ecosistémicos dentro del Centro Histórico de Ayacucho para el año 2021. Existiendo la posibilidad de tener respuestas de negación al declarar un valor económico considerado como protesta, y que algunas encuestas fueron respondidas de forma incompleta, por lo que se incrementó el tamaño muestral a 270 individuos encuestados.

Se logró identificar 30 respuestas protesta de las 270 encuestas totales, relacionadas a diferentes razones que motivaron a los involucrados a declarar una Disposición a Pagar (DAP) nula, asimismo se encontraron cuestionarios incompletos en donde las respuestas sobre algunas de las variables de ingreso de nuestro modelo se encontraban vacías y sin marcarse. Estas respuestas de protesta encontradas en el proceso de encuesta fueron retiradas durante el análisis de la información, por la posibilidad de generar sesgos durante la estimación del valor económico ambiental; aun así, tiene que precisarse de que no fueron eliminadas de la investigación siendo que también se recogió la motivación que condujeron a la respuesta de propuesta, analizadas en las conclusiones de este estudio.

Tabla 8.

Parámetros de entrada al modelo de Redes Neuronales Artificiales

PARÁMETROS DE INGRESO	DESCRIPCIÓN
X1	Importancia de la calidad del aire
X2	Importancia de la recreación y el turismo
X3	Prioridad de la mejora de la calidad del aire
X4	Prioridad de la mejora de la recreación y el turismo
X5	Influencia de la calidad del aire
X6	Influencia de la recreación y el turismo
X7	Información sobre la calidad del aire
X8	Información sobre la recreación y el turismo
X9	Percepción individual sobre la calidad del aire
X10	Percepción individual sobre la recreación y el turismo

X11	Importancia de la MPH para la mejora de la calidad del aire
X12	Importancia de la MPH para la mejora de la recreación y el turismo
X13	Afectación a la salud física debido a la calidad del aire
X14	Afectación a la salud mental debido a la recreación y el turismo
X15	Género
X16	Rango de Edad
X17	Nivel de estudios
X18	Niveles o pisos de la vivienda
X19	Tipo de material predominante en la vivienda
X20	Cantidad de personas que residen o trabajan en la vivienda
X21	Ingreso económico familiar total

Fuente: Elaboración Propia

Por ende, del total de 270 encuestas realizadas se retiraron 30 respuestas de protesta y se obtuvieron 240 encuestas validadas para realizar el proceso de entrenamiento, validación y prueba (training, validation and testing) para nuestro modelo planteado.

Se eligieron 21 variables de ingreso para nuestro modelo de redes neuronales artificiales en relación al análisis sustentado y guiándonos con los parámetros publicados por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA) para la valoración económica contingente.

De la primera sección del cuestionario se extrajeron las 10 primeras variables de entrada (X_1, X_2, \dots, X_{10}), donde se tomó en cuenta la descripción del servicio ecosistémico que a valorarse; por lo que en primer lugar se pretendió familiarizar al encuestado con el mercado hipotético simulado. En esta investigación, el servicio ecosistémico de regulación se enfocó explícitamente en la calidad del aire y el servicio ecosistémico cultural se enfocó a los beneficios obtenidos por la recreación y turismo; ambos servicios ecosistémicos están referidos al ámbito de influencia del Centro Histórico de Ayacucho.

Mediante la segunda sección del cuestionario se extrajeron las 04 siguientes variables de entrada ($X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$), siendo el módulo más importante porque acá se obtuvo el

valor económico ambiental del servicio ecosistémico estudiado, por lo que se simuló un mercado hipotético donde se manifestó la disposición a pagar (DAP) para disfrutar del beneficio provisto por el servicio ecosistémico de regulación y cultural ceñido a las preferencias de cada individuo.

De la misma forma, de la tercera sección del cuestionario se extrajeron las siguientes 7 variables de entrada restantes ($X_{15}, X_{16}, \dots, X_{21}$), donde se recolectó información demográfica, geográfica y socioeconómica del encuestado como parte complementaria a toda la información previamente recolectada.

Tabla 9.

Umbral de valores de salida para el modelo RNA

Variable	Valor Económico	Opción
DAP	S/. 0.00 soles	1
	S/. 12.00 soles	2
	S/. 24.00 soles	3
	S/. 36.00 soles	4
	S/. 48.00 soles	5
	S/. 60.00 soles	6
	S/. 72.00 soles	7
	Mayor a S/. 72.00 soles	8

Fuente: Elaboración Propia

Por ello es preciso destacar que, el valor económico ambiental para el servicio ecosistémico es hallado mediante la variable última de salida (Y) que es medida en torno a la percepción individual de cada encuestado dentro de la zona de estudio, siendo utilizados modelos matemáticos específicos enfocados en la teoría de las Y_1 : Medidas de bienestar con variación compensada y las Y_2 : Medidas de bienestar con variación equivalente.

3.8.3. Selección de la información y preprocesamiento

En la selección de datos, con el fin de proceder de forma óptima con el preprocesamiento de la información de la misma naturaleza, se utilizó un criterio de selección inicial, ya que se vincula a la Disposición a Pagar (DAP) por medio de la adición de un monto al impuesto predial para el financiamiento de programas de mitigación ambiental. Siendo que el criterio utilizado nos condiciona solo realizar la encuesta a 01 jefe de hogar por cada predio, debido a que solo habrá un responsable que asumirá el pago de este tipo de impuesto anualmente; determinándose de esta manera un valor único para los residentes y no residentes de cada una de los predios encuestados.

Tabla 10.

Propiedades estadísticas de las variables de entrada

Parámetros de ingreso	Promedio	Desviación Estándar	Valor Máximo	Valor Mínimo
X1	3.63	1.09	5	1
X2	3.61	0.91	5	2
X3	3.51	0.96	5	2
X4	3.11	0.56	4	2
X5	2.02	1.02	4	1
X6	3.28	0.87	5	1
X7	2.66	1.46	5	1
X8	2.74	1.07	5	1
X9	2.61	0.65	4	1
X10	2.39	0.49	3	2
X11	1.53	0.50	2	1
X12	2.37	0.66	3	1
X13	2.56	1.04	5	1
X14	2.86	0.43	3	1
X15	1.59	0.49	2	1
X16	3.01	1.31	5	1
X17	4.19	0.84	5	3
X18	3.09	1.02	5	2
X19	2.41	0.62	3	1
X20	2.81	0.64	4	2
X21	3.77	0.78	5	3

Fuente: Elaboración Propia

La recolección de datos se realizó en un periodo de 04 días (del miércoles 12 al sábado 15 de mayo del año 2021) y se escogió a las viviendas con frente hacia la calle en el anillo vial del Centro Histórico de Ayacucho mediante un muestreo aleatorio simple. Posteriormente a ello, se realizó el preprocesamiento de la información en gabinete a través de programas informáticos tales como R y Excel. Como se mencionó, se elaboraron 270 cuestionarios, y luego de la selección se aceptaron solamente 240 cuestionarios válidos para el procesamiento posterior, esto fue debido a las respuestas de protesta y datos incompletos que fueron excluidos en el procesamiento de los datos de ingreso.

Se hizo uso del 75% de la información (180 cuestionarios) para el proceso de entrenamiento de nuestro modelo y el 25% de la información restante (60 cuestionarios) fue resguardada para la etapa de validación y contrastación del modelo planteado. Este proceso se realizó enmarcado por las guías de valoración ambiental y fue esencial para la interpretación de los resultados de las variables y las causas relacionales en el modelo.

3.8.4. Arquitectura de la red basada en la retro-propagación

Se hizo uso de la arquitectura basada en redes neuronales multicapa para la creación del algoritmo de predicción y estimación de la disposición a pagar (DAP) enfocado a los servicios ecosistémicos. Una arquitectura típica de la red neuronal artificial usualmente consta en una capa de ingreso, un conjunto de capas ocultas y una capa de salida. Las capas constan de una cantidad de neuronas, en donde cada neurona en una capa se conecta a las neuronas de la capa subyacente, pero sin tener conexiones entre neuronas de una misma capa.

Es debido a ello, que los datos son constantemente alimentados de una capa a la subsecuente, este es el motivo de por qué estos modelos son llamados redes de alimentación hacia adelante. Terminado el proceso en la capa de salida, resultará finalmente el valor económico contingente buscado.

Entre la vasta gama de técnicas existentes, se eligió la técnica de backpropagation para entrenar a nuestra red neuronal artificial, conocida habitualmente como retro-propagación. El motivo de ello fue que la retro-propagación se caracteriza habitualmente por su potencia y viene a ser comúnmente utilizada en las aplicaciones que se relacionan a una red neuronal artificial con una arquitectura multicapa. Para obtener las salidas

deseadas de los pesos en la retro-propagación, representando a la intensidad de la conexión de los nudos, se ajustan utilizando una cantidad de entradas de entrenamiento y sus respectivos valores objetivos. El error que presenta la red vendrá a ser la resta entre el objetivo esperado y lo calculado. Este error posteriormente viene a ser retro-propagado desde la última capa hacia atrás con el fin de poder estar actualizando de forma iterativa los pesos de la red. Dicha técnica de ajuste de pesos se detiene cuando el error característico de la red neuronal alcanza un cierto nivel de estabilidad y exactitud con relación al valor económico contingente determinado.

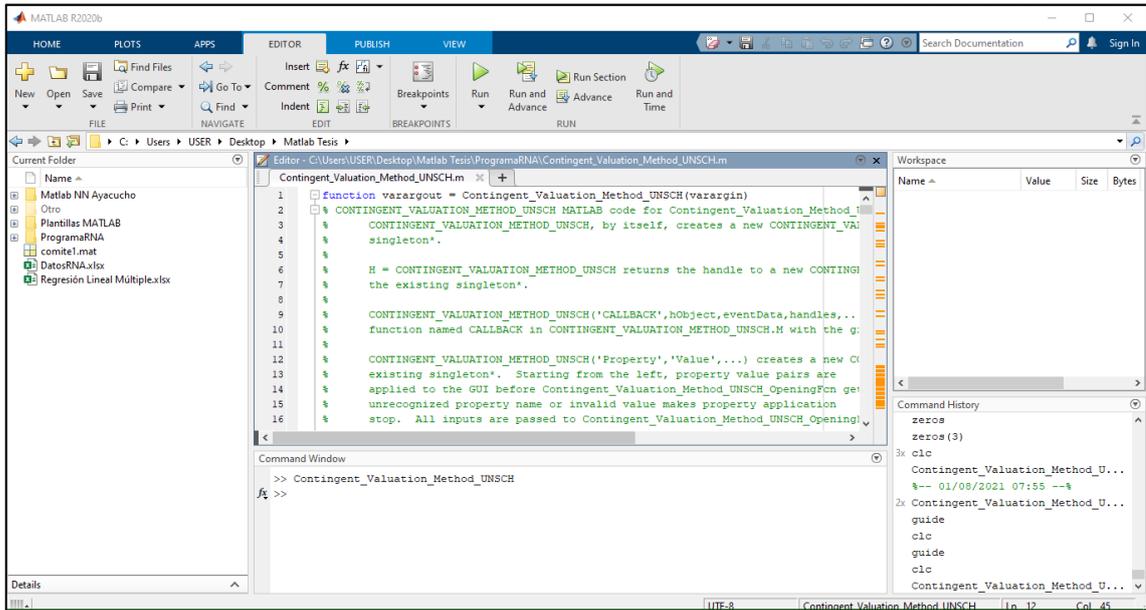
3.8.5. Fase de construcción para el modelo de RNA

Se hizo uso del toolbox o caja especializada de herramientas de Redes Neuronales Artificiales del software MATLAB Versión R2021b con el fin de desarrollar algoritmo de redes neuronales artificiales enfocado en la estimación y predicción de la valoración económica contingente. Nuestro modelo de valoración contingente creado en el software MATLAB tiene la versatilidad para ser implementado y utilizado en la modelación datos de gran tamaño, también se dispone de una adaptabilidad para una vasta cantidad de modelos de regresión, en donde se encuentra la relación entre una o varias variables de predicción (entrada) y una variable de respuesta (salida). Adicionalmente, el algoritmo fue diseñado e implementado en una interfaz gráfica con la finalidad de brindar una herramienta informática funcional, de fácil uso, flexible y atractiva. Con el fin de obtener la predicción del valor económico contingente de los servicios ecosistémicos basada en la información primaria recopilada mediante encuestas, se desarrolló el software en MATLAB denominado “*Contingent Valuation Method UNSCH*” donde se encontró la Disposición a Pagar (DAP) en el Centro Histórico de Ayacucho.

Dentro del modelo programado, en su única capa oculta, la red neuronal artificial usó una función de activación tangente hiperbólica (tansigmoidal), generando mediante esta función unos valores de salida ubicados en el mismo rango que los valores ingresados posterior al proceso de normalización durante la etapa de preprocesamiento, en la cual los límites más bajos y altos están entre -1 y $+1$ respectivamente para los valores de retorno de la función tansigmoidal. De forma similar, al determinarse la Disposición a Pagar (DAP), fue utilizada una función lineal como función de activación para la capa de salida debido a que los valores de la salida responden mejor a los rangos de estructurados de tipo lineal tal como se realizó en esta investigación.

Figura 14.

Algoritmo del programa *Contingent Valuation Method UNSCH*



Fuente: Elaboración propia

Fue recomendable hacer uso del algoritmo de normalización antes del entrenamiento durante la etapa de pre-procesamiento de las variables de entrada y salida en la red neuronal artificial, de tal forma que dichos valores se mantengan en un rango especificado y así poder evitar que la red neuronal artificial asigne mayor relevancia a las variables con mayores valores debido al valor distinto de cada variable.

Para normalizar el conjunto de datos de entrenamiento con la finalidad de que se encuentren dentro del intervalo $[-1, +1]$ se presenta la fórmula en la siguiente ecuación, consecuentemente a través de la función implícita en las librerías de Matlab denominada *mapminmax* se implementó este algoritmo en el modelo, destacando por su gran utilidad como función de normalización ya las variables normalizadas tienden a tener la misma jerarquía sin condicionarse por su naturaleza, ya sea numérica, categórica o dicotómica.

$$p_i^{norm} = \left[\frac{2(p_i - p^{min})}{p^{max} - p^{min}} \right] - 1 \quad (40)$$

La representación del conjunto de datos originales y normalizados será mediante p_i y p_i^{norm} respectivamente. Asimismo, mediante $p^{máx}$ y $p^{mín}$ se representaron a los valores máximo y mínimo del conjunto bajo normalización respectivamente.

La arquitectura óptima de la red neuronal se logra identificar a través de una correcta definición de la cantidad de neuronas en las capas de ingreso y en la capa de salida, la cantidad de capas ocultas y la cantidad de neuronas en las capas ocultas. Se tiene un total de 21 neuronas en la capa de ingreso, debido a que la cantidad de neuronas en la capa de ingreso es equivalente a la cantidad de parámetros clave extraídos del análisis del cuestionario. Debe precisarse la inexistencia de una regla matemática para obtener la cantidad óptima de capas ocultas, así como la cantidad de neuronas para cada capa, solamente se suele recurrir a la técnica de ensayo y error hasta alcanzar la cantidad adecuada de capas ocultas, así como la cantidad óptima de neuronas en las capas. Realizando este ensayo de prueba y error, finalmente se consignó una red neuronal con arquitectura de [21x21x1], siendo la arquitectura óptima del modelo específico para nuestro estudio para poder predecir acertadamente el valor económico contingente.

3.8.6. Fase de entrenamiento para el modelo de RNA

Durante esta etapa de entrenamiento se buscó generar un modelo de entrenamiento con el cual se aseguraría la capacidad de generalización de la red neuronal artificial enfocada a la valoración contingente. El overfitting o también conocido como ajuste excesivo, viene a ser un problema usualmente típico que aparece en el proceso de entrenamiento. Los datos de entrenamiento con distribución uniforme dentro del espacio muestral de la red neuronal ayudan a alcanzar el comportamiento objetivo según lo estudiado por Xu et al. (2019). Para lograr la generalización del modelo basado en redes neuronales artificiales se escogió un método efectivo, utilizando para ello el criterio de early stopping (detención temprana). Por lo que en esta investigación, los datos recolectados del cuestionario fueron subdivididos en tres conjuntos, y estos fueron los denominados conjuntos de entrenamiento, validación y prueba (training, validation y test).

Encuesta																														
E60	E59	E58	E57	E56	E55	E54	E53	E52	E51	E50	E49	E48	E47	E46	E45	E44	E43	E42	E41	E40	E39	E38	E37	E36	E35	E34	E33	E32	E31	
4	3	4	5	5	4	1	1	1	3	4	3	4	5	5	1	2	1	1	3	4	3	4	3	4	5	5	4	4	4	
4	3	3	5	4	5	3	2	2	3	4	3	3	5	4	5	2	3	2	2	3	4	3	3	5	5	4	5	3	4	3
3	4	4	4	5	4	4	3	3	4	3	4	4	4	5	4	3	2	3	3	4	3	4	4	4	4	5	4	5	4	4
2	3	3	4	3	3	3	2	3	3	2	3	3	4	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
1	3	4	1	3	1	4	1	1	3	1	3	4	1	3	1	1	2	1	1	3	1	3	4	1	3	1	3	1	2	2
4	3	2	4	3	4	2	1	1	3	4	3	2	4	3	4	1	3	1	1	3	4	3	2	4	3	4	3	4	3	3
2	3	4	2	5	2	4	1	1	2	2	3	4	2	5	2	1	1	1	1	2	2	3	4	2	5	2	1	2	2	2
3	2	3	3	4	3	3	1	1	3	3	2	3	3	4	3	1	1	1	1	3	3	2	3	3	4	3	2	2	2	2
3	3	2	3	1	3	2	3	4	3	3	3	2	3	1	3	4	4	3	4	3	3	3	2	3	1	3	3	3	3	3
3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3
2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
3	3	3	3	1	3	3	1	1	2	3	3	3	3	1	3	1	2	1	1	2	3	3	3	3	3	1	3	3	2	2
2	2	3	2	5	2	4	1	1	2	2	2	3	2	5	2	1	1	1	1	2	2	2	3	2	5	2	3	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	1	1	2	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2
2	3	4	2	5	2	4	1	1	1	2	3	4	2	5	2	1	1	1	1	1	2	3	4	2	5	2	5	3	4	4
4	5	4	5	4	3	5	3	3	4	4	5	4	5	4	3	3	4	3	3	4	4	5	4	5	4	3	5	3	5	5
4	2	3	4	2	4	3	2	2	2	4	2	3	4	2	4	2	3	2	2	2	4	2	3	4	2	4	2	4	3	2
2	3	1	2	3	2	1	2	3	3	2	3	1	2	3	2	2	3	2	3	3	2	3	1	2	3	2	3	2	2	2
2	3	3	2	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	3	2	3	2	3	2	2	2
3	4	4	3	5	3	4	4	4	3	3	4	4	3	5	3	4	5	4	4	4	3	3	4	4	3	5	3	5	3	3
60	36	48	36	84	24	72	12	12	12	60	36	48	36	84	24	12	12	12	12	12	60	36	48	36	84	24	60	48	48	48
																					Y									

Encuesta																													
E90	E89	E88	E87	E86	E85	E84	E83	E82	E81	E80	E79	E78	E77	E76	E75	E74	E73	E72	E71	E70	E69	E68	E67	E66	E65	E64	E63	E62	E61
5	3	5	3	5	3	5	5	5	4	5	5	5	5	4	4	3	4	5	5	4	4	3	2	4	3	2	4	5	3
5	3	5	3	5	5	5	4	5	3	5	4	5	4	3	4	3	3	5	4	3	5	3	3	4	3	3	3	4	3
4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	4	5	4	5	2	2	3	4	2	4	5	4
4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	2	3	3	4	3	3	3	3	2	3	3	3	4	3	3
2	3	2	3	2	1	3	1	3	1	4	1	3	1	4	1	3	4	1	3	4	3	1	1	1	3	1	2	3	3
5	3	5	3	5	4	3	4	3	4	2	4	3	4	2	4	3	2	4	3	2	3	3	3	4	3	3	3	3	3
5	3	5	3	5	2	5	2	4	2	4	2	5	2	4	2	3	4	2	5	4	5	1	1	2	3	1	2	5	2
5	2	5	2	5	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	2	3	3	4	3	4	2	2	3	2	2	2	4	3
2	3	2	3	2	3	1	3	1	3	2	3	1	3	2	3	3	2	3	1	2	1	3	2	3	3	3	3	1	3
3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	3
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2
2	3	2	3	2	3	1	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	1	3	1	2	2	3	3	2	2	1	2
4	2	4	2	4	2	4	2	5	2	4	2	5	2	4	2	2	3	2	5	4	5	2	2	2	2	2	2	5	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2
1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2
5	3	5	3	5	2	5	2	5	2	4	2	5	2	4	2	3	4	2	5	4	5	1	1	2	3	1	3	5	1
5	5	5	5	5	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	5	4	5	4	5	4	3	4	4	5	4	5	4	4
5	2	5	2	5	4	2	4	3	4	3	4	2	4	3	4	2	3	4	2	3	2	3	3	4	2	3	4	2	2
3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	1	2	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2	2	2	3	2	3	3	3
4	3	4	3	4	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	3	2
5	4	5	4	5	3	5	3	5	3	4	3	5	3	4	3	4	4	3	5	4	5	4	3	3	4	3	4	5	3
84	36	84	36	84	36	84	36	84	24	72	36	84	24	72	60	36	48	36	84	72	72	12	12	60	36	12	48	84	12
Y																													

E115	E114	E113	E112	E111	E110	E109	E108	E107	E106	E105	E104	E103	E102	E101	E100	E99	E98	E97	E96	E95	E94	E93	E92	E91	Encuesta
3	5	2	3	5	2	3	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	5	2	3	5	2	3	X1
3	5	3	3	5	3	3	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3	3	X2
2	4	2	4	4	2	4	4	4	4	4	4	2	2	4	2	2	4	2	4	2	4	4	2	4	X3
3	4	2	3	4	2	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	X4
1	2	1	3	2	1	3	2	3	2	3	1	1	1	3	1	1	3	1	2	1	3	2	1	3	X5
3	5	3	3	5	3	3	5	3	5	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3	3	X6
1	5	1	3	5	1	3	5	3	5	3	2	1	1	3	1	1	3	1	5	1	3	5	1	3	X7
2	5	2	2	5	2	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	5	2	2	X8
3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	X9
2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	X10
1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	X11
2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	2	2	3	X12
2	4	2	2	4	2	2	4	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	4	2	2	X13
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	X14
2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	X15
3	5	1	3	5	1	3	5	3	5	3	2	3	3	3	3	3	3	3	5	1	3	5	1	3	X16
3	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	3	3	3	5	3	3	5	3	5	4	5	5	4	5	X17
3	5	3	2	5	3	2	5	2	5	2	4	3	3	2	3	3	2	3	5	3	2	5	3	2	X18
2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	2	3	X19
3	4	2	3	4	2	3	4	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	X20
3	5	3	4	5	3	4	5	4	5	4	3	3	3	4	3	3	4	3	5	3	4	5	3	4	X21
12	84	12	36	84	12	36	84	36	84	36	24	12	12	36	12	12	36	12	84	12	36	84	12	36	Y

E140	E139	E138	E137	E136	E135	E134	E133	E132	E131	E130	E129	E128	E127	E126	E125	E124	E123	E122	E121	E120	E119	E118	E117	E116	Encuesta
5	3	3	3	3	3	3	3	5	2	3	5	2	3	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	X1
5	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3	3	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	X2
4	2	2	4	2	2	4	2	4	2	4	4	2	4	4	4	4	4	4	2	2	4	2	2	4	X3
3	3	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	X4
1	1	1	3	1	1	3	1	2	1	3	2	1	3	2	3	2	3	1	1	1	3	1	1	3	X5
4	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3	3	5	3	5	3	4	3	3	3	3	3	3	X6
2	1	1	3	1	1	3	1	5	1	3	5	1	3	5	3	5	3	2	1	1	3	1	1	3	X7
3	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	5	2	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	2	X8
3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	X9
3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	X10
2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	X11
3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	X12
2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	4	2	2	4	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	X13
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	X14
1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	X15
2	3	3	3	3	3	3	3	5	1	3	5	1	3	5	3	5	3	2	3	3	3	3	3	3	X16
3	3	3	5	3	3	5	3	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	3	3	3	5	3	3	5	X17
4	3	3	2	3	3	2	3	5	3	2	5	3	2	5	2	5	2	4	3	3	2	3	3	2	X18
2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	2	2	3	X19
2	3	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	4	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	X20
3	3	3	4	3	3	4	3	5	3	4	5	3	4	5	4	5	4	3	3	3	4	3	3	4	X21
24	12	12	36	12	12	36	12	84	12	36	84	12	36	84	36	84	36	24	12	12	36	12	12	36	Y

E165 E164 E163 E162 E161 E160 E159 E158 E157 E156 E155 E154 E153 E152 E151 E150 E149 E148 E147 E146 E145 E144 E143 E142 E141																					Encuesta				
5	2	3	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	5	2	3	5	2	3	5	3	5	3	X1
5	3	3	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3	3	5	3	5	3	X2
4	2	4	4	4	4	2	4	2	2	4	2	2	4	2	4	2	4	4	2	4	4	4	4	4	X3
4	2	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	4	3	4	3	X4
2	1	3	2	3	2	3	1	1	1	3	1	1	3	1	2	1	3	2	1	3	2	3	2	3	X5
5	3	3	5	3	5	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5	3	3	5	3	5	3	X6
5	1	3	5	3	5	3	2	1	1	3	1	1	3	1	5	1	3	5	1	3	5	3	5	3	X7
5	2	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	5	2	2	5	2	5	2	X8
2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	X9
3	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3	2	X10
1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	X11
2	2	3	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	X12
4	2	2	4	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2	4	2	4	2	X13
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	X14
1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	X15
5	1	3	5	3	5	3	2	3	3	3	3	3	3	3	5	1	3	5	1	3	5	3	5	3	X16
5	4	5	5	5	5	5	3	3	3	5	3	3	5	3	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	X17
5	3	2	5	2	5	2	4	3	3	3	2	3	3	2	5	3	2	5	3	2	5	2	5	2	X18
3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	X19
4	2	3	4	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	4	3	4	3	4	X20
5	3	4	5	4	5	4	3	3	3	4	3	3	4	3	5	3	4	5	3	4	5	4	5	4	X21
84	12	36	84	36	84	36	24	12	12	36	12	12	36	12	84	12	36	84	12	36	84	36	84	36	Y

no pudiendo converger en esos casos a un modelo correctamente entrenado. La aplicación de un error objetivo muy ajustado causaría que el modelo también sobreajuste los datos de entrenamiento y por ello se perdería la capacidad de generalización para otros conjuntos de datos de entrada desconocidos para el modelo.

Asimismo, se utilizó adicionalmente al conjunto de prueba para verificar la capacidad de generalización de la red neuronal artificial, sin afectar el entrenamiento. En esta investigación, el conjunto de entrenamiento se compone del 75% del total de cuestionarios (180 datos de entrada) y el resto, es decir el 25% del total de cuestionarios (60 datos de entrada) fueron equitativamente utilizados entre los conjuntos de validación y prueba. Precizando que el procedimiento de división se realizó de forma aleatoria entre los tres conjuntos.

La función de desempeño se utilizó en la sumatoria de error cuadrático medio (MSE), ya que esto es lo habitual en las redes neuronales multicapa para poder monitorear el desempeño total, siendo que esta ecuación caracteriza la relación existente para el proceso del cálculo del MSE.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_j^N (T_j - P_j)^2 \quad (41)$$

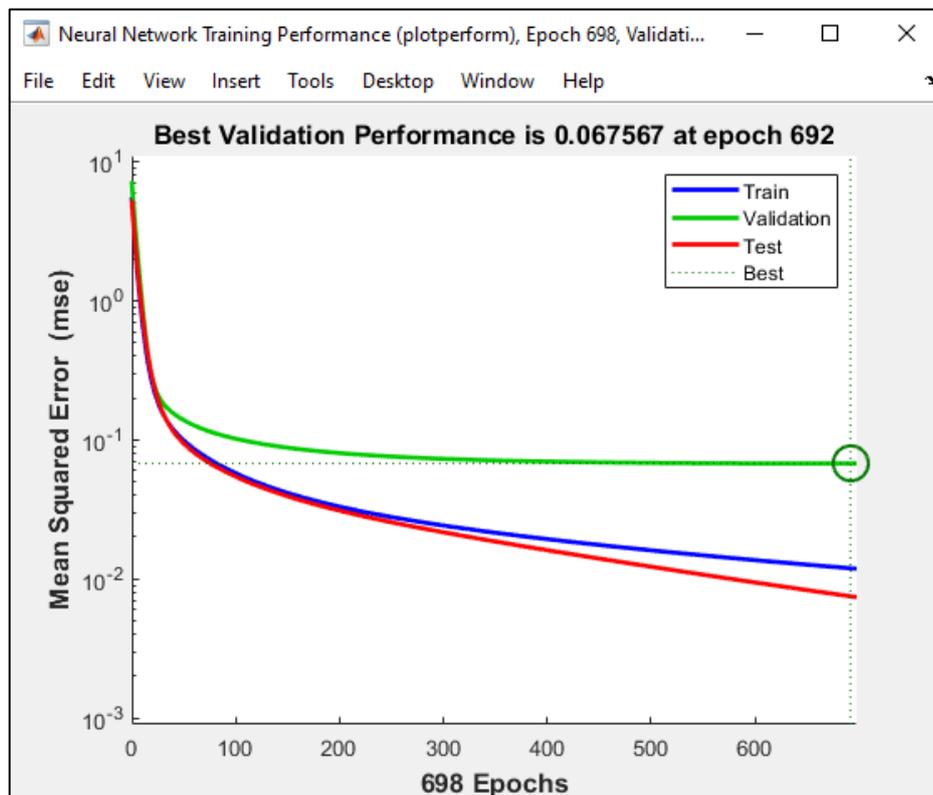
Siendo que los términos para el objetivo y la salida real del conjunto de datos de entrada fueron expresados mediante T_j y P_j respectivamente. Asimismo, N viene a ser el número total del conjunto de entrenamiento. Se debe destacar que el error cuadrático medio es una medida recomendada para calcular el desempeño exitoso de una corrida de entrenamiento.

El error calculado entre el valor económico real obtenido en el Centro Histórico Ayacucho y el valor económico predicho por el modelo en la capa de salida fue determinado durante el proceso de entrenamiento al usar las redes neuronales multicapa. Consecuentemente, este error fue retro-propagado de la capa de salida hacia las capas intermedias, y finalmente hasta la capa de ingreso en donde los pesos conectados fueron modificados. Dicho proceso fue iterativo hasta que fuese satisfecho alguno de los criterios de detención.

Los valores predichos por la red neuronal entrenada fueron comparados con los valores reales obtenidos en campo. Para constatar la diferencia entre los valores predichos y los reales, se dibujó una recta de 45 grados, en donde el promedio de los valores de costo previstos es similar a los reales, visualizándose una concentración razonable de los valores calculados alrededor de la recta de 45 grados, siendo que los coeficientes de determinación de los valores de disposición a pagar predichos y reales fue 95 %. Por lo que se muestra una progresiva reducción del error en el modelo, según el desempeño de la curva de error obtenida durante el proceso de entrenamiento de las redes neuronales.

Figura 15.

Curva de aprendizaje durante el proceso de entrenamiento de las RNA



Fuente: Elaboración propia

3.8.7. Fase de prueba para el modelo de RNA

Fue primordial realizar esta etapa de prueba durante el proceso de valoración contingente para poder asegurar que el modelo desarrollado fue entrenado exitosamente y la generalización se encuentra demostrada. Los datos recabados de los 240 cuestionarios se dividieron en tres conjuntos (training, validation y test): conjunto de entrenamiento, validación y prueba. Se utilizaron los parámetros de ingreso del conjunto de

entrenamiento del modelo de redes neuronales artificiales para el nuevo conjunto de datos de ingreso, los cuales no deben ser conocidos por la red con anterioridad. Resultando valores similares en la comparación de los tres conjuntos investigados: los valores del conjunto de prueba, los valores de Disposición a Pagar (DAP) reales y los valores obtenidos del modelo de redes neuronales artificiales.

Tabla 12.

Conjunto de datos para la etapa de validación y prueba

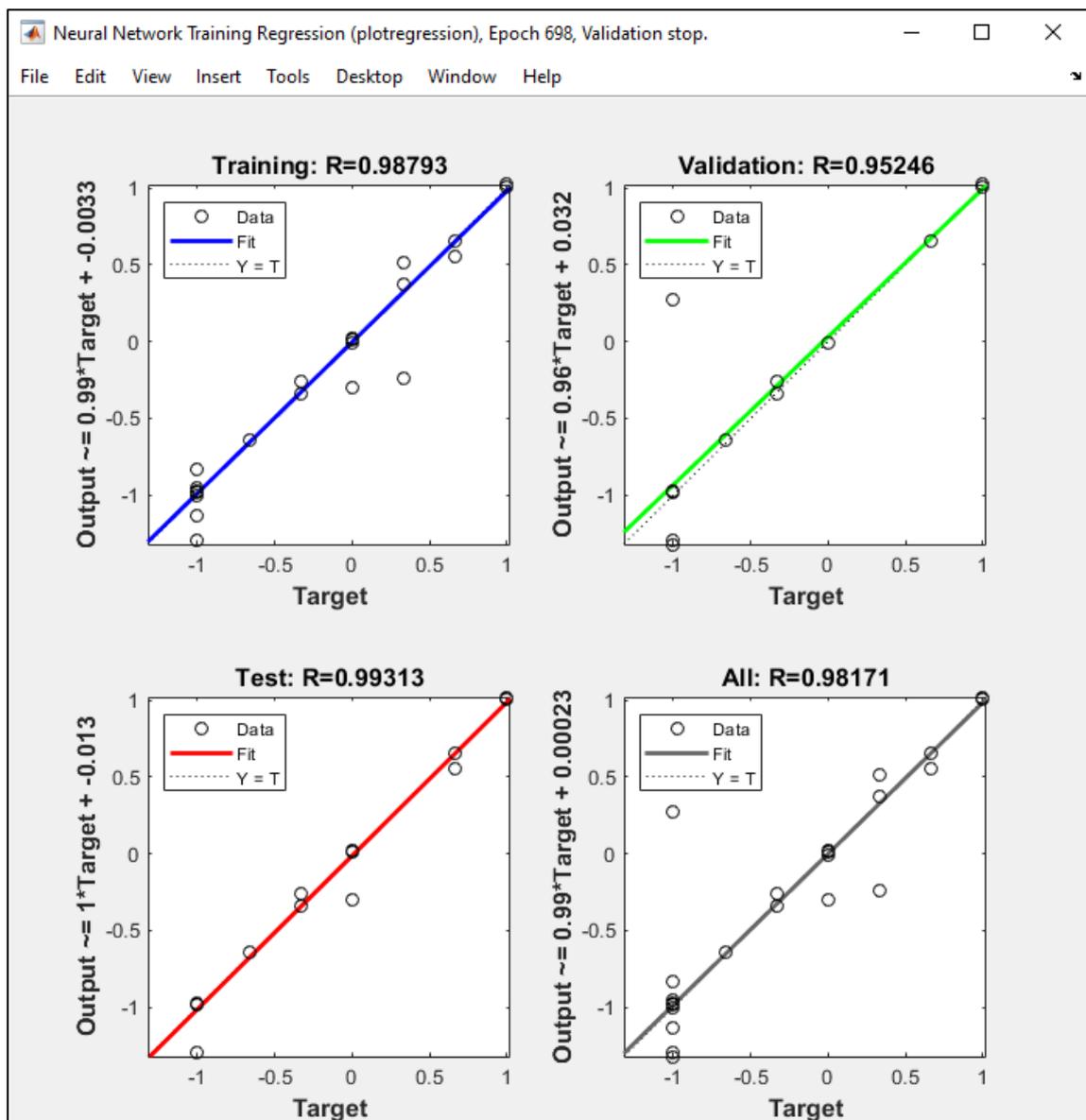
Encuesta																					Y																			
E200	E199	E198	E197	E196	E195	E194	E193	E192	E191	E190	E189	E188	E187	E185	E184	E183	E182	E181	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	Y
3	2	4	5	3	4	3	4	5	5	5	4	3	2	5	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	3	4	48
3	3	3	4	3	4	3	3	5	4	5	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	3	3	36
4	2	4	5	4	3	4	4	4	5	4	4	4	2	5	4	3	4	4	4	3	4	3	3	4	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	4	4	2	3	3	60
3	3	4	3	3	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	12
3	1	2	3	3	1	3	4	1	3	1	4	3	1	3	3	1	3	3	4	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	12
3	3	3	3	3	4	3	2	4	3	4	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	84
3	1	2	5	2	2	3	4	2	5	2	4	3	1	5	2	2	3	4	2	2	2	3	4	3	4	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	12
2	2	2	4	3	3	2	3	3	4	3	3	2	2	4	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	36
3	3	3	1	3	3	3	2	3	1	3	2	3	3	1	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	72
2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
3	1	3	5	1	2	3	4	2	5	2	4	3	1	5	1	2	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
5	4	5	4	4	4	5	4	5	4	3	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	84
2	3	4	2	2	4	2	3	4	2	4	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
3	2	3	3	3	2	3	1	2	3	2	1	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
3	2	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
4	3	4	5	3	3	4	4	3	5	3	4	4	3	5	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48

Encuesta																								
E225	E224	E223	E222	E221	E220	E219	E218	E217	E216	E215	E214	E213	E212	E211	E210	E209	E208	E207	E206	E205	E204	E203	E202	E201
5	2	5	2	3	4	3	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
5	3	5	3	3	4	3	3	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
4	2	4	2	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	2	4	2	3	2	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
2	1	2	1	3	1	3	4	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
5	3	5	3	3	4	3	2	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
5	1	5	1	2	2	3	4	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
5	2	5	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	2	3	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
4	2	4	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	5	1	1	2	3	4	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
5	4	5	4	4	4	5	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
5	3	5	3	2	4	2	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
3	2	3	2	3	2	3	1	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
4	2	4	2	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
5	3	5	3	3	3	4	4	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3
84	12	84	12	12	60	36	48	72	24	72	24	72	36	72	24	72	36	72	24	60	24	72	24	72
																								Y

3. El conjunto de datos de entrenamiento fue utilizado para entrenar la red y variar los parámetros del modelo según la metodología elegida.
4. Haciendo uso del conjunto de datos de validación pudo validarse la red neuronal para demostrar el aprendizaje y la generalización.
5. Se realizó la simulación utilizando los datos del conjunto de prueba.
6. Finalmente se obtuvieron tanto la curva de aprendizaje, así como el coeficiente de determinación contrastado a través del modelo de regresión lineal múltiple.

Figura 16.

Comparativa de los valores de Disposición a Pagar (DAP)



Fuente: Elaboración propia

3.8.9. Modelo de Regresión Lineal Múltiple (RLM)

Para el modelo de regresión lineal múltiple fueron proyectadas las $k = 21$ variables de entrada procesadas. Siendo fundamental el modelo de probabilidad Normal como base para nuestro modelo matemático expresado mediante la siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + U \quad (42)$$

Siendo la estructura de la forma matricial:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & \dots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & \dots & X_{kn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix} \quad (43)$$

3.8.10. Estimación de los parámetros

Teniendo en cuenta de que "n" representa a la cantidad de encuestas válidas relacionada a los involucrados residentes del Centro Histórico de Ayacucho, por lo que tendremos la estimación de los parámetros de una muestra aleatoria según el siguiente arreglo: $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i, (i = 1, 2, \dots, n)$.

A través de: $Y = X\beta + U$, es que se representa a la estructura de forma matricial tal que $X = \text{matriz de diseño}$.

$$\begin{array}{cccccc} & Y & X_1 & X_2 & \dots & X_k \\ 1 & Y_1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 2 & Y_2 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ n & Y_n & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{array} \quad (44)$$

La afectación de la variable independiente sobre la variable dependiente se expresa a través de los coeficientes de este vector columna β_i . Por lo cual, cuando la variable independiente X_i varía en una unidad, mientras todas las demás permanecen constantes, entonces el valor estimado de β_i indicará la variación experimentada por la variable dependiente.

Por lo tanto, se puede simplificar el valor de los coeficientes mediante:

$$\beta = [X'X]^{-1}X'Y \quad (45)$$

$$X'X = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n X_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{ik} \\ \sum_{i=1}^n X_{i2}X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{i2}^2 & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{i2}X_{ik} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ik}X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{ik}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{ik}^2 \end{pmatrix} \quad (46)$$

$$X'Y = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n X_{i1}Y_i \\ \sum_{i=1}^n X_{i2}Y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ik}Y_i \end{pmatrix} \quad (47)$$

Se hizo uso de la varianza de los errores de predicción para la estimación de la varianza del error aleatorio, expresado por:

$$S_R^2 = \frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^n u_i^2 \quad (48)$$

3.8.11. Contratación de hipótesis: t-Student

La contrastación se basó en el planteamiento de que la variable independiente X_i influye sobre la variable dependiente Y ; es decir, si el valor del parámetro en la muestra es nulo o no. Es por esto que, se plantea la hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$ frente a la hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$. Por lo que el estadístico observado fue expresado por:

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{S_R \sqrt{q_{i+1,i+1}}} \quad (49)$$

Aceptándose la hipótesis nula H_0 al tenerse:

$$\left| \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{S_R \sqrt{q_{i+1,i+1}}} \right| \leq \overbrace{t_{\frac{\alpha}{2}; (n-k-1)}}^{\text{teórico}} \quad (50)$$

Por lo que se expresa al coeficiente de correlación parcial mediante:

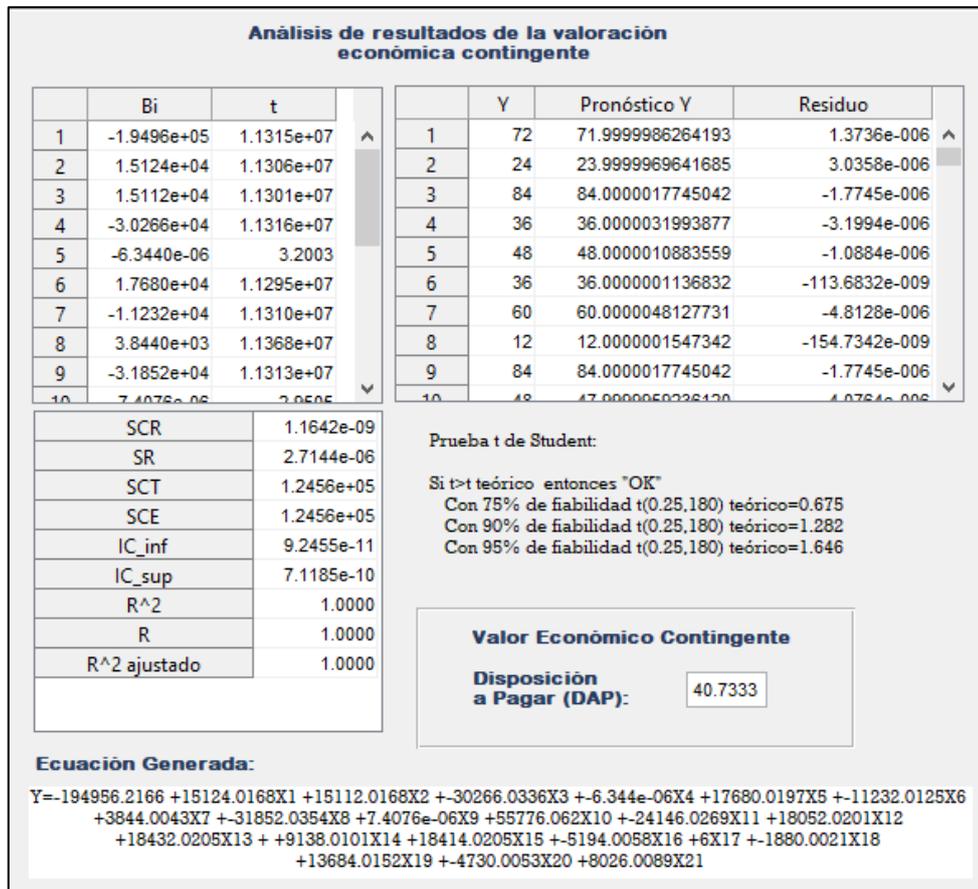
$$R_{YiC}^2 = \frac{t_i^2}{t_i^2 + n - (k + 1)} \quad (51)$$

Finalmente, el contraste individual de la t respecto a la variable X se expresó a través de:

$$t_i = \frac{\hat{\beta}_i}{S_R \sqrt{q_{i+1,i+1}}}; i = 1, 2, \dots, k \quad (52)$$

Figura 17.

Prueba de hipótesis implementada en el modelo RNA



Fuente: Elaboración propia

Es destacable comentar que la implementación de la prueba de hipótesis fue realizada con éxito dentro de nuestro software con la finalidad de que se pueda contrastar los resultados conseguidos mediante la predicción de la disposición a pagar (DAP)

3.8.12. Intervalos de confianza de los parámetros

Los intervalos de confianza de los parámetros son definidos en base a la siguiente expresión matemática:

$$IC_{1-\alpha}(\beta_i) = \left[\hat{\beta}_i \pm t_{\frac{\alpha}{2};(n-k-1)} S_R \sqrt{q_{i+1,i+1}} \right] \quad (53)$$

En base al nivel de confianza $(1 - \alpha)$ se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, nos planteamos si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, nos planteamos si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Se generó el intervalo de confianza de los valores de Distribución de Chi-Cuadrado χ^2 al considerarse un nivel de confianza de 95%, haciendo uso de una tabla típica estadística.

$$\frac{\alpha}{2} = 0.05 \text{ y } 1 - \frac{\alpha}{2} = 0.975$$

$$IC_{\sigma^2} = \left(\frac{(n-k-1)S_R^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2};(n-k-1)}}, \frac{(n-k-1)S_R^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2};(n-k-1)}} \right) = \left(\frac{SCR}{\chi^2_{0.025,180}}, \frac{SCR}{\chi^2_{0.975,180}} \right) \quad (54)$$

3.8.13. Análisis de la varianza: Tabla ANOVA

Se hará uso de la prueba estadística paramétrica del análisis de la varianza en base a la tabla ANOVA para nuestra prueba de hipótesis. Por lo cual, según la siguiente

tabla se tendrá que para un nivel de confianza $(1 - \alpha) = (1 - 0.05) = 95\%$ se rechaza H_0 si $F \geq F_{\alpha;k,(n-k-1)}$.

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i no influye sobre la variable dependiente Y .

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir se planteó si la variable independiente X_i influye sobre la variable dependiente Y .

El coeficiente de determinación es expresado mediante:

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (55)$$

Tabla 13.

Tabla ANOVA para el análisis de la varianza

Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F-Snedecor
Explicada	$SCE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	k	$\frac{SCE}{k}$	$F = \frac{SCE/k}{SCR/(n-k-1)}$
Residual	$SCR = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$n - k - 1$	$\frac{SCR}{n - k - 1}$	
Total	$SCT = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	$n - 1$		

Fuente: Asadoorian & Kantarelis (2005)

IV. Capítulo IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS

4.1.1. Contrastación de la Hipótesis General

Para la estrategia establecida, fue formulada la hipótesis nula (H_0), en donde al cuantificar el servicio ecosistémico determinaremos que no influye en la valoración económica ambiental y, la hipótesis alterna (H_1) donde al cuantificar el servicio ecosistémico determinaremos que influye en la valoración económica ambiental.

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

En primer lugar, se estableció el grado de influencia de las variables de ingreso al modelo de redes neuronales artificiales (teniendo un total de 21 variables descritas anteriormente) sobre la variable de salida para poder contrastar la hipótesis, enfocado en el valor económico contingente expresado por la disposición a pagar (DAP). Es por ello que, el grado asociativo entre variables y el valor de los parámetros nos ayudaron a contrastar la hipótesis planteada.

4.1.1.1. Prueba paramétrica de t-Student

Para nuestra investigación, se planteó si las variables independientes X_i (los valores de entrada recolectados mediante el cuestionario), influyen sobre la variable dependiente Y (la disposición a pagar); es decir, si el valor del parámetro en la muestra es nulo o no. Es por esto que, se plantea la hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$ frente a la hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$. Por lo que el estadístico observado fue expresado por:

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{S_R \sqrt{q_{i+1,i+1}}} \quad (56)$$

Aceptándose la hipótesis nula H_0 al tenerse:

$$\frac{\overbrace{\hat{\beta}_i - \beta_i}^{\text{experimental}}}{S_R \sqrt{q_{i+1,i+1}}} \leq \overbrace{t_{\frac{\alpha}{2};(n-k-1)}}^{\text{teórico}} \quad (57)$$

Por lo que se expresa al coeficiente de correlación parcial mediante:

$$R_{YiC}^2 = \frac{t_i^2}{t_i^2 + n - (k + 1)} \quad (58)$$

Finalmente, el contraste individual de la t respecto a la variable X se expresó a través de:

$$t_i = \frac{\hat{\beta}_i}{S_R \sqrt{q_{i+1,i+1}}}; i = 1, 2, \dots, k \quad (59)$$

Tabla 14.

Grado de influencia de las variables del modelo de RNA

VARIABLES DE ENTRADA	$\hat{\beta}$	$q_{i+1,i+1}$	$\sqrt{q_{i+1,i+1}}$
<i>Término Independiente</i>	-194956.00	40289301.67	0.320011987
X1	15124.00	242873.36	0.024846277
X2	15112.00	242706.65	0.024837748
X3	-30266.00	970884.38	0.049676974
X4	0.0000969	0.53	3.68189E-05
X5	17680.00	332559.02	0.029074064
X6	-11232.00	133849.33	0.018445035
X7	3844.00	15519.29	0.00628069
X8	-31852.00	1075908.92	0.052294875
X9	0.0000002	0.86	4.66312E-05
X10	55776.00	3297295.61	0.091548307
X11	-24146.00	621272.87	0.039738601
X12	18052.00	345894.78	0.029651276
X13	18432.00	359484.69	0.030228151
X14	9138.00	88356.44	0.014986164
X15	18414.00	359791.39	0.030241042
X16	-5194.00	28678.04	0.008537803
X17	6.00	0.18	2.15344E-05
X18	-1880.00	3730.66	0.003079385
X19	13684.00	198643.01	0.022470256
X20	-4730.00	23703.43	0.007762059
X21	8026.00	68175.20	0.0131639

Fuente: Elaboración Propia

La influencia insignificante de tres variables de entrada es evidente al observarlos resultados de los coeficientes o pesos de estas en el modelo de redes neuronales artificiales, Por ende, se identificaron a estas variables X_4 , X_9 y X_{17} . Por lo cual, previamente en la prueba de hipótesis deben de descartarse las variables con ínfima influencia relacionada a las demás variables del modelo de redes neuronales artificiales.

Tabla 15.

VARIABLES DE ENTRADA CON INFLUENCIA INSIGNIFICANTE

VARIABLES DE ENTRADA	$\hat{\beta}$	$q_{i+1,i+1}$	$\sqrt{q_{i+1,i+1}}$
X4	0.0000969	0.53	3.68189E-05
X9	0.0000002	0.86	4.66312E-05
X17	6.00	0.18	2.15344E-05

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16.

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA CON INFLUENCIA INSIGNIFICANTE

VARIABLES DE ENTRADA	DESCRIPCIÓN
X4	Prioridad de la mejora de la recreación y el turismo
X9	Percepción individual sobre la calidad del aire
X17	Nivel de estudios

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17.

PRUEBA T DE STUDENT DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO

VARIABLES DE ENTRADA	t	t0.25,180=0.675	t0.10,180=1.282	t0.05,180=1.646
<i>Término Independiente</i>	6.09E+05	OK	OK	OK
X1	6.09E+05	OK	OK	OK
X2	6.08E+05	OK	OK	OK
X3	6.09E+05	OK	OK	OK
X5	6.08E+05	OK	OK	OK

X6	6.09E+05	OK	OK	OK
X7	6.12E+05	OK	OK	OK
X8	6.09E+05	OK	OK	OK
X10	6.09E+05	OK	OK	OK
X11	6.08E+05	OK	OK	OK
X12	6.09E+05	OK	OK	OK
X13	6.10E+05	OK	OK	OK
X14	6.10E+05	OK	OK	OK
X15	6.09E+05	OK	OK	OK
X16	6.08E+05	OK	OK	OK
X18	6.11E+05	OK	OK	OK
X19	6.09E+05	OK	OK	OK
X20	6.09E+05	OK	OK	OK
X21	6.10E+05	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración Propia

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Se utilizó un nivel de confianza del 95%, con un riesgo del 5% y teniendo un total de 180 grados de libertad para nuestro modelo. Por lo que finalmente se rechazó la hipótesis nula, demostrándose la fiabilidad de cada una de las variables restantes y su influencia de manera significativa en la determinación del valor económico contingente vinculado a la Disposición a Pagar (DAP).

4.1.1.2. Análisis de la varianza mediante la tabla ANOVA

Adicionalmente utilizaremos la prueba estadística paramétrica del análisis de la varianza en base a la tabla ANOVA para nuestra prueba de hipótesis. Por lo cual, según la siguiente tabla se tendrá que para un nivel de confianza $(1 - \alpha) = (1 - 0.05) = 95\%$ se rechaza H_0 si:

$$F \geq F_{\alpha; k, (n-k-1)} \quad (60)$$

Tabla 18.

Tabla ANOVA para el servicio ecosistémico

Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F-Snedecor
Explicada	$SCE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	k	$\frac{SCE}{k}$	$F = \frac{SCE/k}{SCR/(n-k-1)}$
Residual	$SCR = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$n - k - 1$	$\frac{SCR}{n - k - 1}$	
Total	$SCT = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	$n - 1$		

Fuente: Asadoorian & Kantarelis (2005)

Hipótesis nula H_0 : $\beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa H_1 : $\beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Tabla 19.

Tabla ANOVA del valor económico contingente del servicio ecosistémico

	Variación	Suma de cuadrados	Gr. libertad	Media cuadrática	F-Snedecor	Distribución de F de Fisher
SCE	Explicada	1.246E+05	180	6.920E+02		
SCR	Residual	4.016E-07	60	6.693E-09	1.034E+11	1.263
SCT	Total	1.246E+05	240	5.190E+02		

Fuente: Elaboración Propia

$$F_{180,60} = \frac{SCE/k}{SCR/(n-k-1)} = 1.034E + 11 > 1.263 = F_{0.05;180,60} \quad (61)$$

En base a esto, se rechazó la hipótesis nula planteada en relación al valor de salida, es decir, la valoración económica ambiental expresada mediante la Disposición a Pagar (DAP) y su grado de influencia en torno a las variables de ingreso al modelo de redes neuronales artificiales, representando al servicio ecosistémico estudiado. Siendo evidente que el valor obtenido por el F-Snedecor precisa de forma clara la influencia investigada.

4.1.1.3. Determinación de los coeficientes de correlación

Se utilizó el estadístico usualmente conocido como Coeficiente de Determinación (R^2), con la finalidad de hallar la medida de la bondad de ajuste determinado por el modelo de redes neuronales artificiales:

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{1.245592E + 05}{1.245593E + 05} = 0.993 \quad (62)$$

Resultando un Coeficiente de Correlación múltiple:

$$R = \sqrt{0.999} = 0.996 \quad (63)$$

Al corregirse mediante los grados de libertad del modelo, tendremos finalmente un Coeficiente de Determinación:

$$R^2 = 1 - \frac{SCR/(n - k - 1)}{SCT/(n - 1)} = 1 - \frac{6.693E - 09}{5.190E + 02} = 0.999 \quad (64)$$

4.1.2. Primera Hipótesis Específica

Para la estrategia establecida, fue formulada la hipótesis nula (H_0), en donde al cuantificar el servicio ecosistémico de regulación determinaremos que no influye en la valoración económica ambiental y, la hipótesis alterna (H_1) donde al cuantificar el servicio ecosistémico de regulación determinaremos que influye en la valoración económica ambiental.

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico de regulación) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico de regulación) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

4.1.2.1. Prueba paramétrica de t-Student del servicio ecosistémico de regulación

Para nuestra investigación, se planteó si las variables independientes X_i (valores de entrada relacionados al servicio ecosistémico de regulación), influyen sobre la variable dependiente Y (la disposición a pagar); es decir, si el valor del parámetro en la muestra es nulo o no. Es por esto que, se plantea la hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$ frente a la hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$.

Tabla 20.

Influencia de las variables del servicio de regulación en el modelo de RNA

VARIABLES DE ENTRADA	$\hat{\beta}$	$q_{i+1,i+1}$	$\sqrt{q_{i+1,i+1}}$
<i>Término Independiente</i>	-194956.00	40289301.67	0.320011987
<i>X1</i>	15124.00	242873.36	0.024846277
<i>X3</i>	-30266.00	970884.38	0.049676974
<i>X5</i>	17680.00	332559.02	0.029074064
<i>X7</i>	3844.00	15519.29	0.00628069
<i>X9</i>	0.0000002	0.86	4.66312E-05
<i>X11</i>	-24146.00	621272.87	0.039738601
<i>X13</i>	18432.00	359484.69	0.030228151
<i>X15</i>	18414.00	359791.39	0.030241042
<i>X16</i>	-5194.00	28678.04	0.008537803
<i>X17</i>	6.00	0.18	2.15344E-05
<i>X18</i>	-1880.00	3730.66	0.003079385
<i>X19</i>	13684.00	198643.01	0.022470256
<i>X20</i>	-4730.00	23703.43	0.007762059
<i>X21</i>	8026.00	68175.20	0.0131639

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21.

Prueba t de Student del servicio de regulación

Variables de entrada	t	t0.25,180=0.675	t0.10,180=1.282	t0.05,180=1.646
<i>Término Independiente</i>	6.09E+05	OK	OK	OK
X1	6.09E+05	OK	OK	OK
X3	6.09E+05	OK	OK	OK
X5	6.08E+05	OK	OK	OK
X7	6.12E+05	OK	OK	OK
X11	6.08E+05	OK	OK	OK
X13	6.10E+05	OK	OK	OK
X15	6.09E+05	OK	OK	OK
X16	6.08E+05	OK	OK	OK
X18	6.11E+05	OK	OK	OK
X19	6.09E+05	OK	OK	OK
X20	6.09E+05	OK	OK	OK
X21	6.10E+05	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración Propia

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico de regulación) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico de regulación) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Se utilizó un nivel de confianza del 95%, con un riesgo del 5% y teniendo un total de 180 grados de libertad para nuestro modelo. Por lo que finalmente se rechazó la hipótesis nula, demostrándose la fiabilidad de cada una de las variables restantes y su influencia de manera significativa en la determinación del valor económico contingente vinculado a la Disposición a Pagar (DAP).

4.1.2.2. Análisis de la varianza del servicio ecosistémico de regulación

Adicionalmente utilizaremos la prueba estadística paramétrica del análisis de la varianza en base a la tabla ANOVA para nuestra prueba de hipótesis. Por lo cual, según la siguiente tabla se tendrá que para un nivel de confianza $(1 - \alpha) = (1 - 0.05) = 95\%$ se rechaza H_0 si:

$$F \geq F_{\alpha;k,(n-k-1)} \quad (65)$$

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico de regulación) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico de regulación) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Tabla 22.

Tabla ANOVA del valor económico contingente del servicio de regulación

	Variación	Suma de cuadrados	Gr. libertad	Media cuadrática	F-Snedecor	Distribución de F de Fisher
SCE	Explicada	1.246E+05	180	6.910E+02		
SCR	Residual	4.016E-07	60	6.693E-09	1.011E+11	1.263
SCT	Total	1.246E+05	240	5.130E+02		

Fuente: Elaboración Propia

$$F_{180,60} = \frac{SCE/k}{SCR/(n-k-1)} = 1.011E + 11 > 1.263 = F_{0.05;180,60} \quad (66)$$

En base a esto, se rechazó la hipótesis nula planteada en relación al valor de salida, es decir, la valoración económica ambiental expresada mediante la Disposición a Pagar (DAP) y su grado de influencia en torno a las variables de ingreso al modelo de redes neuronales artificiales, representando al servicio ecosistémico de regulación. Siendo evidente que el valor obtenido por el F-Snedecor precisa de forma clara la influencia investigada.

4.1.2.3. Coeficientes de correlación del servicio ecosistémico de regulación

Se utilizó el estadístico usualmente conocido como Coeficiente de Determinación (R^2), con la finalidad de hallar la medida de la bondad de ajuste determinado por el modelo de redes neuronales artificiales:

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{1.245581E + 05}{1.245583E + 05} = 0.992 \quad (67)$$

Resultando un Coeficiente de Correlación múltiple:

$$R = \sqrt{0.992} = 0.996 \quad (68)$$

Al corregirse mediante los grados de libertad del modelo, tendremos finalmente un Coeficiente de Determinación en relación al servicio ecosistémico de regulación:

$$R^2 = 1 - \frac{SCR/(n - k - 1)}{SCT/(n - 1)} = 1 - \frac{6.693E - 09}{5.190E + 02} = 0.999 \quad (69)$$

4.1.3. Segunda Hipótesis Específica

Para la estrategia establecida, fue formulada la hipótesis nula (H_0), en donde al cuantificar el servicio ecosistémico cultural determinaremos que no influye en la valoración económica ambiental y, la hipótesis alterna (H_1) donde al cuantificar el servicio ecosistémico cultural determinaremos que influye en la valoración económica ambiental.

Hipótesis nula H_0 : $\beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico cultural) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa H_1 : $\beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico cultural) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

4.1.3.1. Prueba paramétrica de t-Student del servicio ecosistémico cultural

Para nuestra investigación, nos planteamos si las variables independientes X_i (valores de entrada relacionados al servicio ecosistémico cultural), influyen sobre la variable dependiente Y (la disposición a pagar); es decir, si el valor del parámetro en la muestra es nulo o no. Es por esto que, se plantea la hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$ frente a la hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$.

Tabla 23.

Influencia de las variables del servicio cultural en el modelo de RNA

<i>Variables de entrada</i>	$\hat{\beta}$	$q_{i+1,i+1}$	$\sqrt{q_{i+1,i+1}}$
<i>Término Independiente</i>	-194956.00	40289301.67	0.320011987
<i>X2</i>	15112.00	242706.65	0.024837748
<i>X4</i>	0.0000969	0.53	3.68189E-05
<i>X6</i>	-11232.00	133849.33	0.018445035
<i>X8</i>	-31852.00	1075908.92	0.052294875
<i>X10</i>	55776.00	3297295.61	0.091548307
<i>X12</i>	18052.00	345894.78	0.029651276
<i>X14</i>	9138.00	88356.44	0.014986164
<i>X15</i>	18414.00	359791.39	0.030241042
<i>X16</i>	-5194.00	28678.04	0.008537803
<i>X17</i>	6.00	0.18	2.15344E-05
<i>X18</i>	-1880.00	3730.66	0.003079385
<i>X19</i>	13684.00	198643.01	0.022470256
<i>X20</i>	-4730.00	23703.43	0.007762059
<i>X21</i>	8026.00	68175.20	0.0131639

Fuente: Elaboración Propia

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico cultural) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico cultural) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Tabla 24.

Prueba t de Student del servicio cultural

Variables de entrada	t	t0.25,180=0.675	t0.10,180=1.282	t0.05,180=1.646
<i>Término Independiente</i>	6.09E+05	OK	OK	OK
X2	6.08E+05	OK	OK	OK
X6	6.09E+05	OK	OK	OK
X8	6.09E+05	OK	OK	OK
X10	6.09E+05	OK	OK	OK
X12	6.09E+05	OK	OK	OK
X14	6.10E+05	OK	OK	OK
X15	6.09E+05	OK	OK	OK
X16	6.08E+05	OK	OK	OK
X18	6.11E+05	OK	OK	OK
X19	6.09E+05	OK	OK	OK
X20	6.09E+05	OK	OK	OK
X21	6.10E+05	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración Propia

Se utilizó un nivel de confianza del 95%, con un riesgo del 5% y teniendo un total de 180 grados de libertad para nuestro modelo. Por lo que finalmente se rechazó la hipótesis nula, demostrándose la fiabilidad de cada una de las variables restantes y su influencia de manera significativa en la determinación del valor económico contingente vinculado a la Disposición a Pagar (DAP).

4.1.3.2. Análisis de la varianza del servicio ecosistémico cultural

Adicionalmente utilizaremos la prueba estadística paramétrica del análisis de la varianza en base a la tabla ANOVA para nuestra prueba de hipótesis. Por lo cual, según la siguiente tabla se tendrá que para un nivel de confianza $(1 - \alpha) = (1 - 0.05) = 95\%$ se rechaza H_0 si:

$$F \geq F_{\alpha;k,(n-k-1)} \quad (70)$$

Hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico cultural) no influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Hipótesis alternativa $H_1: \beta_i \neq 0$, es decir, se planteó si la variable independiente X_i (servicio ecosistémico cultural) influye sobre la variable dependiente Y (valoración económica ambiental).

Tabla 25.

Tabla ANOVA del valor económico contingente del servicio cultural

	Variación	Suma de cuadrados	Gr. libertad	Media cuadrática	F-Snedecor	Distribución de F de Fisher
SCE	Explicada	1.246E+05	180	6.970E+02		
SCR	Residual	4.016E-07	60	6.693E-09	1.001E+11	1.263
SCT	Total	1.246E+05	240	5.180E+02		

Fuente: Elaboración Propia

$$F_{180,60} = \frac{SCE/k}{SCR/(n-k-1)} = 1.001E + 11 > 1.263 = F_{0.05;180,60} \quad (71)$$

En base a esto, se rechazó la hipótesis nula planteada en relación al valor de salida, es decir, la valoración económica ambiental expresada mediante la Disposición a Pagar (DAP) y su grado de influencia en torno a las variables de ingreso al modelo de redes neuronales artificiales, representando al servicio ecosistémico cultural. Siendo evidente que el valor obtenido por el F-Snedecor precisa de forma clara la influencia investigada.

4.1.3.3. Coeficientes de correlación del servicio ecosistémico cultural

Se utilizó el estadístico usualmente conocido como Coeficiente de Determinación (R^2), con la finalidad de hallar la medida de la bondad de ajuste determinado por el modelo de redes neuronales artificiales:

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{1.245561E + 05}{1.245563E + 05} = 0.991 \quad (72)$$

Resultando un Coeficiente de Correlación múltiple:

$$R = \sqrt{0.991} = 0.996 \quad (73)$$

Al corregirse mediante los grados de libertad del modelo, tendremos finalmente un Coeficiente de Determinación en relación al servicio ecosistémico cultural:

$$R^2 = 1 - \frac{SCR/(n-k-1)}{SCT/(n-1)} = 1 - \frac{6.693E - 09}{5.190E + 02} = 0.999 \quad (74)$$

4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Durante la etapa de testeo, se contrastó el correcto análisis e interpretación de la información en base a los 240 cuestionarios procesados (180 cuestionarios durante la etapa de entrenamiento y 60 cuestionarios restantes durante la etapa de validación y contrastación del modelo predictivo), resultando estimaciones óptimas relacionadas a la predicción del valor económico contingente para el nuevo conjunto de datos de entrada introducidos al modelo desarrollado.

4.2.1. Software de redes neuronales artificiales en Matlab

Con la ayuda de las herramientas de Matlab, se procedió a crear el software denominado “*Contingent Valuation Method UNSCH*”, en donde mediante el uso de las redes neuronales artificiales se pudieron obtener los resultados de la predicción de la valoración económica contingente de los servicios ecosistémicos basado en el correcto procesamiento de los datos de entrada. La información primaria fue recopilada por medio de la encuesta para la obtención de la Disposición a Pagar (DAP) dentro del Centro Histórico de Ayacucho para el periodo del año 2021.

Figura 18.

Contingent Valuation Method UNSCH

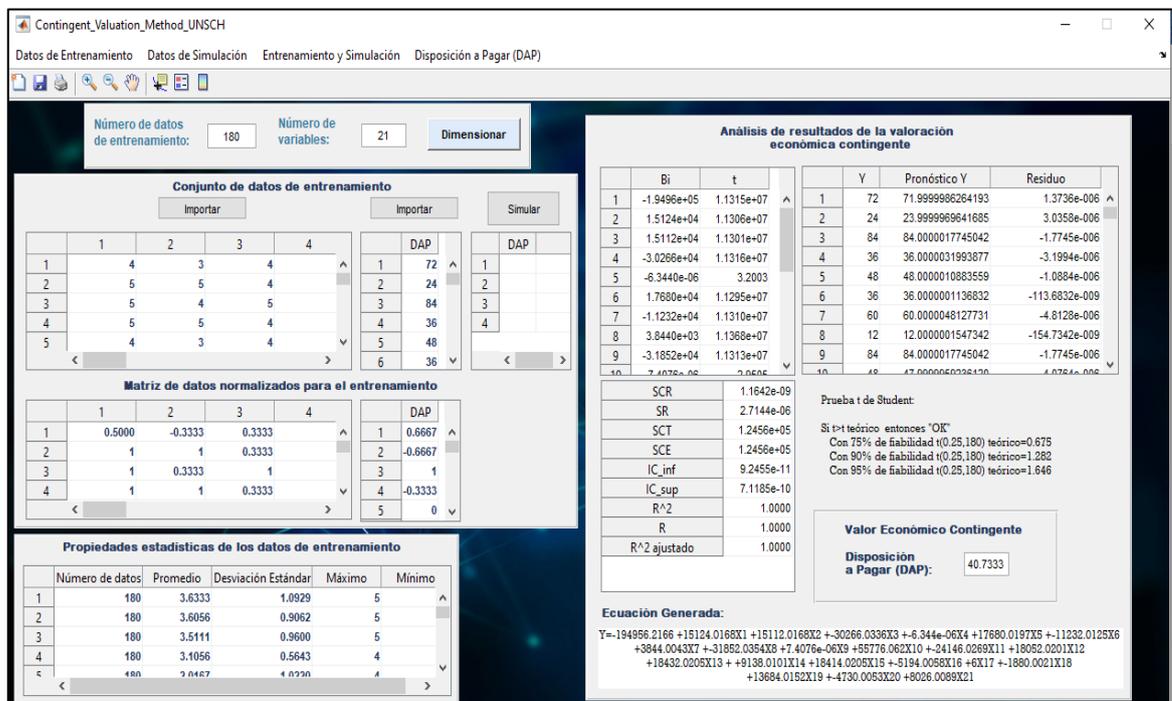


Fuente: Elaboración propia

El software basado en las redes neuronales artificiales fue creado con el fin de la realización de la simulación y predicción de valores económicos ambientales y, complementariamente se acondicionó un algoritmo para el de análisis de Regresión Lineal Múltiple y así poder contrastar la relación entre las variables dependientes e independientes. Por lo que automáticamente se puede generar la expresión matemática, con la cual se puede definir el modelo predictivo para la determinación de la disposición a pagar (DAP) relacionada a las 21 variables de ingreso. El código fuente o algoritmo se adjunta dentro de los anexos del presente estudio.

Figura 19.

Modelo establecido de Regresión Lineal Múltiple.



Fuente: Elaboración propia

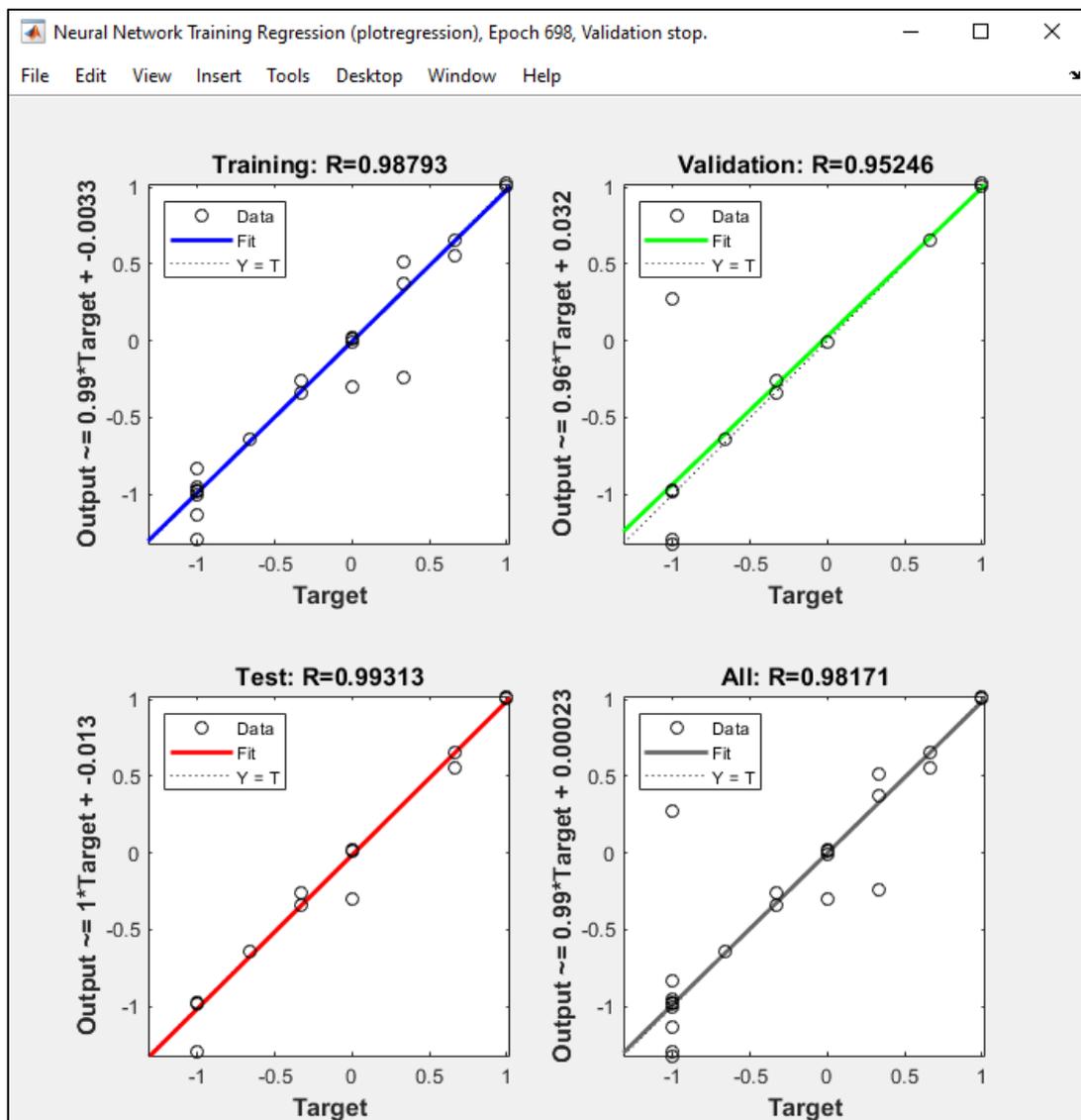
4.2.2. Análisis e interpretación de los resultados del modelo de RNA

Se hizo uso de la inteligencia artificial con programación en Matlab, mostrándose de este modo el error absoluto y su porcentaje para el proceso del análisis de la comparación entre los resultados de predicción del modelo de redes neuronales artificiales expresada por la disposición a pagar (DAP) y el valor económico contingente que fue recogido de la simulación del mercado por medio de los cuestionarios. Se determinó el coeficiente de correlación (R) por medio de un análisis de regresión que fue incluido dentro del software creado para poder hallar la relación entre la predicción de la

disposición a pagar (DAP) enfocada a los servicios ecosistémicos y el valor económico ambiental real. En base a este coeficiente de correlación (R), fueron calculados los resultados específicos para los 03 conjuntos de datos. Durante la etapa de entrenamiento se consignó un $R = 0.98793$, en la etapa de validación se consignó un $R = 0.95246$ y finalmente para la etapa de prueba se consignó un $R = 0.99313$. Al realizar la integración de las 03 etapas en el modelo total, pudimos obtener el coeficiente de correlación (R) resultando un valor de $R = 0.98171$, lo cual refleja la correlación lineal correcta entre la predicción de la disposición a pagar (DAP) generado por la red neuronal durante las 03 etapas y el valor económico ambiental real.

Figura 20.

Comparativa del Coeficiente de correlación (R)



Fuente: Elaboración propia

Con los resultados finales obtuvimos el error absoluto (EA) acumulado de $-2.18E-03$, considerado como un valor despreciable en comparación a otras metodologías, demostrando de esta forma la capacidad de predicción del software de redes neuronales artificiales programado. De la misma forma, se constata que el modelo consiguió el objetivo establecido, ya que el error cuadrático medio (MSE) resultó ser mínimamente de $-2.23E-09$. Se debe destacar la robustez del modelo para llegar a procesar una cantidad considerable de datos introducidos a nuestro software, utilizando específicamente para este estudio 180 datos para la etapa de entrenamiento y 60 datos de ingreso para la etapa de validación y prueba, con 21 variables contenidas en cada cuestionario.

Tabla 26.

Valores resultantes del modelo de redes neuronales artificiales

ENCUESTADO	VALOR REAL	RNA	ERROR ABSOLUTO	ERROR ABSOLUTO
1	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
2	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
3	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
4	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%
5	48	48.000038	-3.80E-05	0.00008%
6	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
7	60	59.999907	9.34E-05	0.00016%
8	12	12.000014	-1.42E-05	0.00012%
9	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
10	48	48.000120	-1.20E-04	0.00025%
11	12	12.000012	-1.24E-05	0.00010%
12	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
13	60	60.000003	-3.48E-06	0.00001%
14	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
15	12	12.000021	-2.10E-05	0.00017%
16	72	71.999963	3.74E-05	0.00005%
17	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
18	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
19	48	48.000120	-1.20E-04	0.00025%
20	48	48.000105	-1.05E-04	0.00022%
21	60	60.000117	-1.17E-04	0.00020%
22	48	48.000120	-1.20E-04	0.00025%
23	12	12.000012	-1.24E-05	0.00010%
24	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
25	60	60.000003	-3.48E-06	0.00001%
26	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
27	12	12.000021	-2.10E-05	0.00017%
28	72	71.999963	3.74E-05	0.00005%
29	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
30	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
31	48	48.000120	-1.20E-04	0.00025%
32	48	48.000105	-1.05E-04	0.00022%
33	60	60.000117	-1.17E-04	0.00020%

34	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
35	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
36	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%
37	48	48.000038	-3.80E-05	0.00008%
38	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
39	60	59.999907	9.34E-05	0.00016%
40	12	12.000014	-1.42E-05	0.00012%
41	12	12.000046	-4.63E-05	0.00039%
42	12	11.999949	5.08E-05	0.00042%
43	12	12.000012	-1.17E-05	0.00010%
44	12	12.000046	-4.63E-05	0.00039%
45	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
46	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
47	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%
48	48	48.000038	-3.80E-05	0.00008%
49	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
50	60	59.999907	9.34E-05	0.00016%
51	12	12.000014	-1.42E-05	0.00012%
52	12	12.000046	-4.63E-05	0.00039%
53	12	11.999949	5.08E-05	0.00042%
54	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
55	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
56	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
57	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%
58	48	48.000038	-3.80E-05	0.00008%
59	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
60	60	59.999907	9.34E-05	0.00016%
61	12	12.000014	-1.42E-05	0.00012%
62	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
63	48	48.000120	-1.20E-04	0.00025%
64	12	12.000012	-1.24E-05	0.00010%
65	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
66	60	60.000003	-3.48E-06	0.00001%
67	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
68	12	12.000021	-2.10E-05	0.00017%
69	72	71.999963	3.74E-05	0.00005%
70	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
71	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
72	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%
73	48	48.000038	-3.80E-05	0.00008%
74	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
75	60	59.999907	9.34E-05	0.00016%
76	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
77	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
78	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
79	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%
80	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
81	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
82	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
83	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%
84	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
85	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
86	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
87	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%

88	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
89	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
90	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
91	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
92	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
93	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
94	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
95	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
96	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
97	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
98	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
99	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
100	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
101	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
102	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
103	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
104	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
105	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
106	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
107	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
108	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
109	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
110	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
111	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
112	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
113	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
114	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
115	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
116	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
117	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
118	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
119	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
120	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
121	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
122	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
123	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
124	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
125	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
126	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
127	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
128	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
129	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
130	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
131	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
132	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
133	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
134	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
135	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
136	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
137	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
138	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
139	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
140	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
141	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%

142	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
143	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
144	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
145	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
146	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
147	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
148	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
149	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
150	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
151	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
152	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
153	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
154	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
155	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
156	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
157	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
158	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
159	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
160	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
161	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
162	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
163	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
164	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
165	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
166	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
167	12	11.999915	8.47E-05	0.00071%
168	84	84.000036	-3.55E-05	0.00004%
169	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
170	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
171	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
172	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
173	36	36.000007	-7.02E-06	0.00002%
174	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
175	12	12.000024	-2.37E-05	0.00020%
176	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
177	72	72.000035	-3.54E-05	0.00005%
178	24	23.999992	7.56E-06	0.00003%
179	84	83.999988	1.15E-05	0.00001%
180	36	36.000088	-8.81E-05	0.00024%

Máximo	84.0000
Mínimo	11.9999
Total	-2.18E-03
MSE	2.23E-09

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Análisis e interpretación de los resultados del modelo de RLM

Se tiene una gran capacidad de realizar predicciones acerca del valor económico contingente con este modelo de redes neuronales artificiales correctamente validado,

siendo aplicado para nuestro estudio dentro del Centro Histórico de Ayacucho, pudiéndose extrapolar a los años posteriores de forma sencilla con la actualización de los datos recolectados a través de los cuestionarios, adicionalmente, también se puede calcular la disposición a pagar (DAP) en cualquier otra ciudad u otro tipo de servicio a determinar. Esta viene a ser la principal ventaja del modelo de redes neuronales artificiales programa, ya que presenta una gran versatilidad para la adaptación a todo tipo de problemas diversos que pueden ser simplificados hasta un modelo de regresión sin la limitante en el número de datos de entrada. Se complementó al modelo de redes neuronales artificiales mediante un modelo de regresión lineal múltiple luego de realizada la validación y prueba de los datos de salida relacionado al valor económico ambiental y a los servicios ecosistémicos de regulación y cultural.

Mediante los cuestionarios se pudo recopilar las variables de entrada para proceder con su procesamiento en donde se estimó el valor económico contingente de los servicios ecosistémicos, generando un modelo de regresión lineal múltiple a través de la calibración de los pesos sinápticos del modelo de inteligencia artificial. En base a los valores introducidos se pudo obtener la matriz β , programando de esta manera el algoritmo para poder realizar la predicción y estimación del valor económico contingente. Usando la forma matricial dentro del modelo, la variable Y expresó al valor de salida relacionado a la disposición a pagar (DAP) y vinculada a las variables de entrada expresadas por X .

$$\begin{aligned} Y &= X\beta + U \\ \beta &= [X'X]^{-1}X'Y \end{aligned} \tag{75}$$

El modelo de regresión lineal múltiple fue desarrollado con 180 cuestionarios (75% de los datos) con el fin de obtener resultados similares a los conseguidos mediante nuestro modelo de redes neuronales artificiales durante la etapa de entrenamiento y posterior validación con 60 cuestionarios (25% de datos procesados).

Es por ello que, para los 180 cuestionarios utilizados durante el proceso, se tendrá la ecuación siguiente:

$$Y = \begin{pmatrix} 72 \\ 24 \\ 84 \\ 36 \\ 48 \\ 36 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 12 \\ 24 \\ 72 \\ 24 \\ 84 \\ 36 \end{pmatrix} = X\beta + U = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 4 & \vdots & \vdots & \vdots & 1 & 3 & 4 \\ 1 & 5 & 4 & \vdots & \vdots & \vdots & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 5 & 5 & \vdots & \vdots & \vdots & 3 & 3 & 5 \\ 1 & 5 & 4 & \vdots & \vdots & \vdots & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 4 & 4 & \vdots & \vdots & \vdots & 1 & 3 & 4 \\ 1 & 3 & 4 & \vdots & \vdots & \vdots & 3 & 3 & 4 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 3 & 3 & \vdots & \vdots & \vdots & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & 5 & \vdots & \vdots & \vdots & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 4 & 3 & \vdots & \vdots & \vdots & 1 & 3 & 4 \\ 1 & 5 & 5 & \vdots & \vdots & \vdots & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 5 & 4 & \vdots & \vdots & \vdots & 3 & 3 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & \vdots & \vdots & \vdots & 2 & 2 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \beta_{16} \\ \beta_{17} \\ \beta_{18} \\ \beta_{19} \\ \beta_{20} \\ \beta_{21} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ U_{16} \\ U_{17} \\ U_{18} \\ U_{19} \\ U_{20} \\ U_{21} \end{pmatrix} \quad (76)$$

Al resolverse la ecuación obtenemos los coeficientes:

$$\beta = [X'X]^{-1}X'Y = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \beta_{16} \\ \beta_{17} \\ \beta_{18} \\ \beta_{19} \\ \beta_{20} \\ \beta_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -194,956 \\ 15,124 \\ 15,112 \\ -30,266 \\ 0,0001 \\ 17,680 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 18,414 \\ -5,194 \\ 6 \\ -1,880 \\ -4,730 \\ 8,026 \end{pmatrix} \quad (77)$$

Luego se obtuvo la expresión matemática que predice el valor económico contingente de los servicios ecosistémicos relacionados a los valores de ingreso recopilados del Centro Histórico de Ayacucho.

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \dots + \beta_{19}X_{19} + \beta_{20}X_{20} + \beta_{21}X_{21} \quad (78)$$

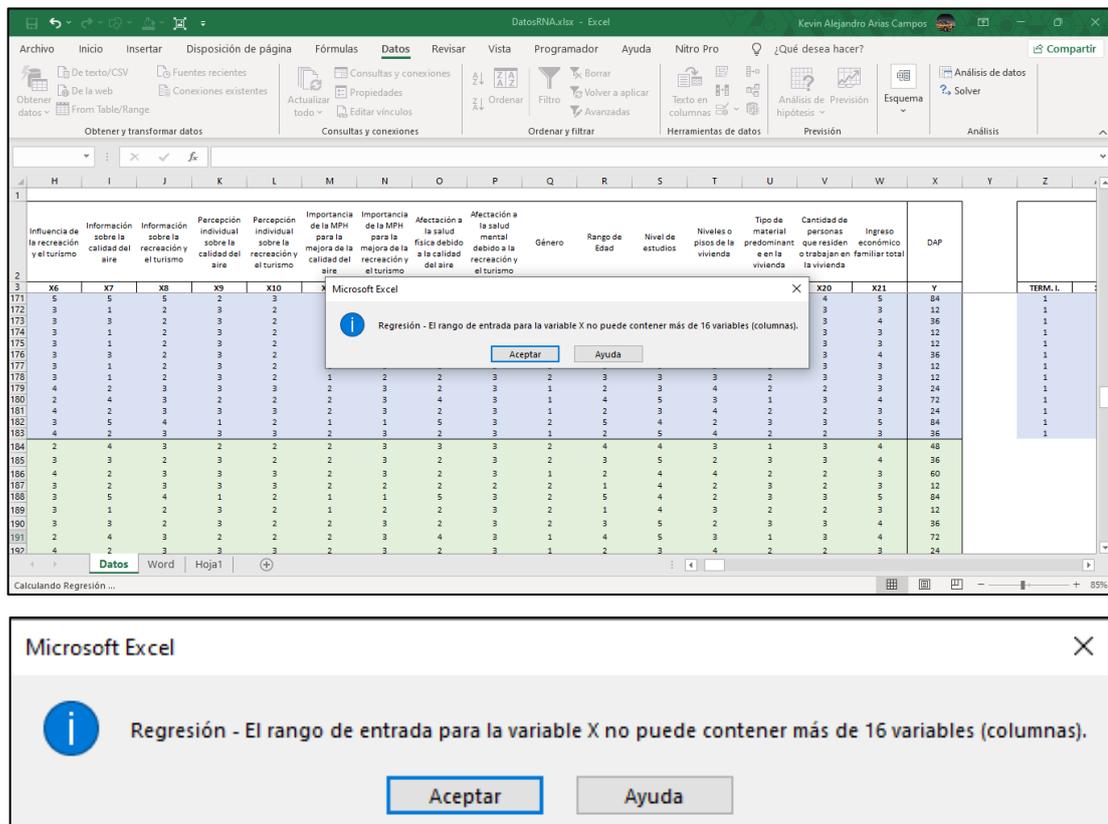
$$Y = -194,956 + 15,124X_1 + 15,112X_2 - 30,266X_3 + 0,0001X_4 + 17,680X_5 + 11,232X_6 + 3,844X_7 - 31,852X_8 + 0,0000002X_9 + 55,776X_{10} - 24,146X_{11} + \dots \quad (79)$$

$$18,052X_{12} + 18,432X_{13} + 9,138X_{14} + 18,414X_{15} - 5,194X_{16} + 6X_{17} - 1,880X_{18} + 13,684X_{19} - 4,730X_{20} + 8,026X_{21}$$

Debido a la importancia que representa esta ecuación, se implementó dentro del programa de inteligencia artificial para calcularse automáticamente. Es preciso acotar que, al automatizarla y posteriormente generar esta ecuación, se debe a que no se podría desarrollar dentro de paquetes informáticos usuales tales como Microsoft Excel porque cuentan con una limitante en el módulo para la generación de los modelos de regresión lineal múltiple debido a la cantidad voluminosa de variables de ingreso. Por ello la creación del algoritmo enfocado a la valoración contingente fue necesaria conseguir resultados óptimos, ya que se cuenta con la capacidad de manejar un número mucho mayor a 21 variables de ingreso mediante la programación recursiva característica del software Matlab.

Figura 21.

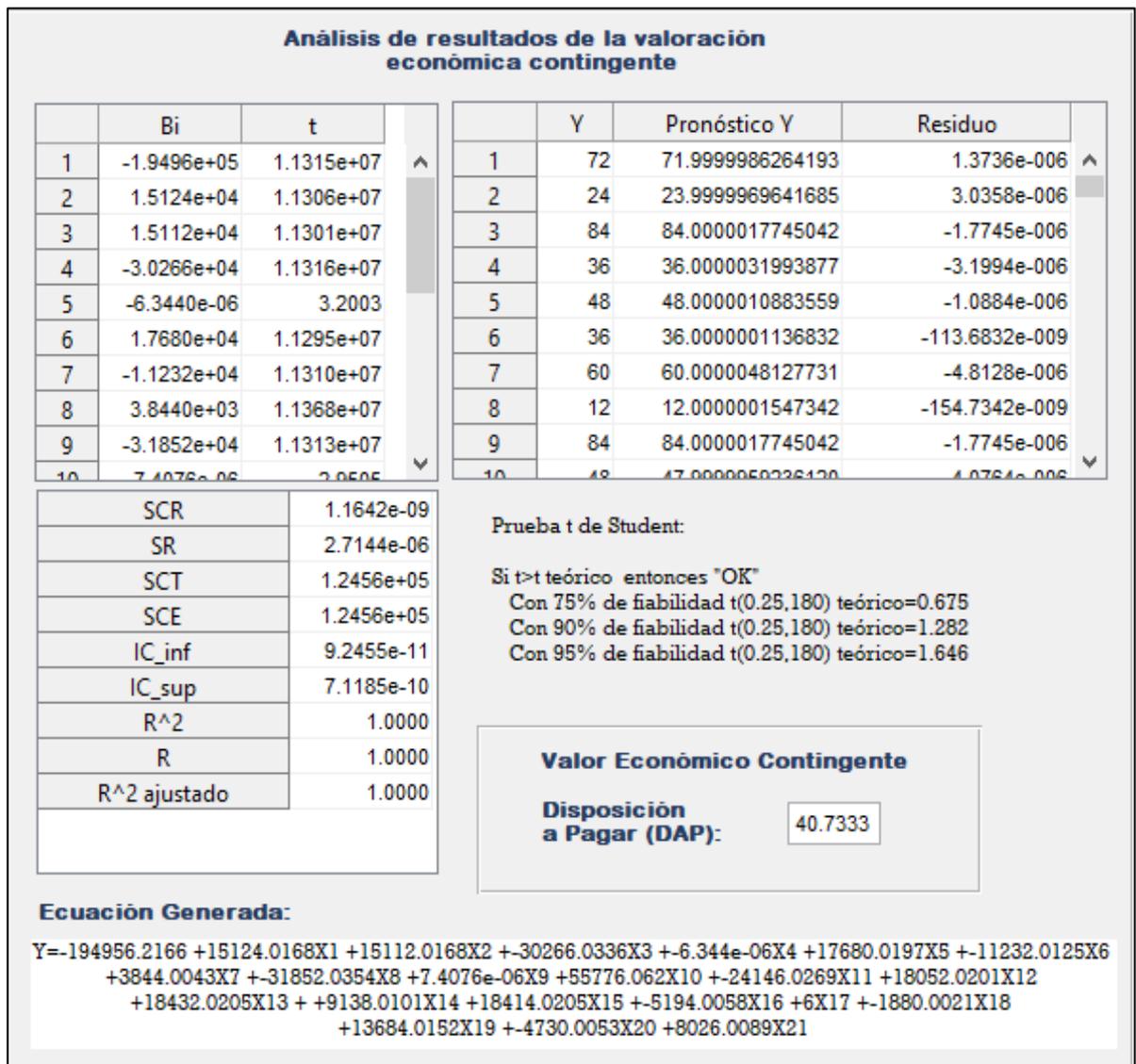
Limitación durante la generación de RLM en paquetes informáticos



Fuente: Elaboración propia

Figura 22.

Ecuación de regresión lineal múltiple implementada en el modelo RNA



Fuente: Elaboración propia

Se hizo el cálculo de la expresión de la fluctuación del valor económico contingente relacionado a la disposición a pagar (DAP) mediante la suma de los cuadrados de la regresión (SCR). La medida correcta con la finalidad de demostrar la verosimilitud y precisión de los valores determinados se realizará a través de la variabilidad del ajuste de los puntos muestrales dentro del espacio multidimensional generado por el valor económico contingente y la respectiva predicción estructurada dentro del modelo de redes neuronales artificiales.

Tabla 27.

Fluctuación del valor de la Disposición a Pagar (DAP)

Encuestado	Y	Y*	ui=Y-Y*	ui^2
1	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09
2	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
3	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
4	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09
5	48	48.000038	-3.80E-05	1.44E-09
6	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
7	60	59.999907	9.34E-05	8.73E-09
8	12	12.000014	-1.42E-05	2.03E-10
9	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
10	48	48.000120	-1.20E-04	1.43E-08
11	12	12.000012	-1.24E-05	1.55E-10
12	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
13	60	60.000003	-3.48E-06	1.21E-11
14	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
15	12	12.000021	-2.10E-05	4.39E-10
16	72	71.999963	3.74E-05	1.40E-09
17	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09
18	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
19	48	48.000120	-1.20E-04	1.44E-08
20	48	48.000105	-1.05E-04	1.10E-08
21	60	60.000117	-1.17E-04	1.38E-08
22	48	48.000120	-1.20E-04	1.43E-08
23	12	12.000012	-1.24E-05	1.55E-10
24	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
25	60	60.000003	-3.48E-06	1.21E-11
26	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
27	12	12.000021	-2.10E-05	4.39E-10
28	72	71.999963	3.74E-05	1.40E-09
29	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09
30	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
31	48	48.000120	-1.20E-04	1.44E-08
32	48	48.000105	-1.05E-04	1.10E-08
33	60	60.000117	-1.17E-04	1.38E-08
34	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
35	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
36	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09
37	48	48.000038	-3.80E-05	1.44E-09
38	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
39	60	59.999907	9.34E-05	8.73E-09
40	12	12.000014	-1.42E-05	2.03E-10
41	12	12.000046	-4.63E-05	2.14E-09
42	12	11.999949	5.08E-05	2.58E-09
43	12	12.000012	-1.17E-05	1.37E-10
44	12	12.000046	-4.63E-05	2.15E-09
45	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
46	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
47	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09
48	48	48.000038	-3.80E-05	1.44E-09

49	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
50	60	59.999907	9.34E-05	8.73E-09
51	12	12.000014	-1.42E-05	2.03E-10
52	12	12.000046	-4.63E-05	2.14E-09
53	12	11.999949	5.08E-05	2.58E-09
54	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09
55	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
56	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
57	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09
58	48	48.000038	-3.80E-05	1.44E-09
59	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
60	60	59.999907	9.34E-05	8.73E-09
61	12	12.000014	-1.42E-05	2.03E-10
62	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
63	48	48.000120	-1.20E-04	1.43E-08
64	12	12.000012	-1.24E-05	1.55E-10
65	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
66	60	60.000003	-3.48E-06	1.21E-11
67	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
68	12	12.000021	-2.10E-05	4.39E-10
69	72	71.999963	3.74E-05	1.40E-09
70	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09
71	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
72	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09
73	48	48.000038	-3.80E-05	1.44E-09
74	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
75	60	59.999907	9.34E-05	8.73E-09
76	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09
77	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
78	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
79	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09
80	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09
81	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
82	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10
83	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09
84	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
85	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
86	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
87	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
88	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
89	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
90	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
91	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
92	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
93	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
94	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
95	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
96	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
97	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
98	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
99	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
100	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
101	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
102	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10

103	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
104	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
105	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
106	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
107	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
108	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
109	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
110	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
111	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
112	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
113	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
114	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
115	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
116	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
117	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
118	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
119	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
120	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
121	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
122	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
123	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
124	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
125	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
126	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
127	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
128	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
129	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
130	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
131	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
132	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
133	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
134	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
135	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
136	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
137	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
138	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
139	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
140	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11
141	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
142	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
143	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
144	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
145	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
146	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
147	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
148	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
149	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09
150	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09
151	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
152	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
153	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
154	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10
155	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11
156	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10

157	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10	
158	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11	
159	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11	
160	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09	
161	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11	
162	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09	
163	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11	
164	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09	
165	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09	
166	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11	
167	12	11.999915	8.47E-05	7.17E-09	
168	84	84.000036	-3.55E-05	1.26E-09	
169	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10	
170	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11	
171	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10	
172	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10	
173	36	36.000007	-7.02E-06	4.93E-11	
174	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10	
175	12	12.000024	-2.37E-05	5.61E-10	
176	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11	
177	72	72.000035	-3.54E-05	1.26E-09	
178	24	23.999992	7.56E-06	5.71E-11	
179	84	83.999988	1.15E-05	1.33E-10	
180	36	36.000088	-8.81E-05	7.77E-09	
				SCR =	4.02E-07
				SR^2 =	2.54E-09
ERROR				SR =	5.04E-05

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4. Intervalos de confianza para la varianza

Para realizar la estimación de los intervalos de confianza para nuestro estudio en base a la varianza del valor económico contingente se tuvo que recurrir a la varianza muestral de la información recopilada y procesada previamente, también se necesitó del valor aleatorio mediante la Distribución Chi-Cuadrado χ^2 desarrollado a través de los grados de libertad (180 grados de libertad equivalente al número de cuestionarios usados durante la etapa de entrenamiento del modelo de redes neuronales artificiales).

Por definición se relaciona con la varianza a la suma de cuadrados de la regresión (SCR) a través de la expresión:

$$S_R^2 = \frac{1}{(n - k - 1)} \sum_{i=1}^n u_i^2 = \frac{1}{(n - k - 1)} SCR \quad (80)$$

Resultando la siguiente expresión consolidada:

$$SCR = (n - k - 1)S_R^2 \quad (81)$$

En base a esto, para los 180 cuestionarios con un nivel de confianza de 95% se consiguió el intervalo de confianza para los valores de nuestro estudio según una Distribución de Chi-Cuadrado χ^2 resultante de la tabla estadística típica.

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025 \text{ y } 1 - \frac{\alpha}{2} = 0.975$$

$$IC_{\sigma^2} = \left(\frac{(n - k - 1)S_R^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, (n-k-1)}}; \frac{(n - k - 1)S_R^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, (n-k-1)}} \right) \\ = \left(\frac{SCR}{\chi^2_{0.025, 180}}; \frac{SCR}{\chi^2_{0.975, 180}} \right) \quad (82)$$

$$IC_{\sigma^2} = \left(\frac{4.02 \times 10^{-7}}{219.0442}; \frac{4.02 \times 10^{-7}}{144.7413} \right) = (1.83 \times 10^{-9}; 2.77 \times 10^{-9})$$

$$1.83 \times 10^{-9} \leq S_R^2 = 2.54 \times 10^{-9} \leq 2.77 \times 10^{-9}$$

4.2.5. Discusión de resultados

Para la discusión de los resultados conseguidos en la presente investigación, fue precisado el servicio ecosistémico de regulación y cultural como principales objetivos para ser valorados económicamente, enfocada en la muestra que represente a la población esencialmente urbana, que en su mayoría se dedica a la actividad comercial, dentro del Centro Histórico de Ayacucho para el año 2021. Es por ello que fue posible comprender el costo de la mitigación ambiental en torno a la conservación del servicio ecosistémico en la ciudad de Ayacucho, haciendo uso de la herramienta de valoración contingente. Es típico utilizar los modelos tradicionales basados en estimaciones econométricas para el caso específico de los servicios ecosistémicos. La desventaja de dichos modelos es que solamente resuelven problemas del tipo lineal, contraviniendo lo necesario en el procedimiento de valoración contingente de los servicios ecosistémicos caracterizados

por el grado de subjetividad elevado, ya que por su propia esencia se consideran del tipo no lineal. Es evidente afirmar que los modelos econométricos clásicos tienen muchas limitaciones en comparación a metodologías recientes que están basadas en la inteligencia artificial.

Esa fue la razón principal por la que se estudió un nuevo enfoque actualizado, es decir con la metodología de la inteligencia artificial, esencialmente con el machine learning se programó el algoritmo vinculado a las redes neuronales artificiales. Este modelo permitió analizar, predecir y obtener las variables más determinantes, al mismo tiempo de hallar la disposición a pagar para poder preservar y mejorar el servicio ecosistémico estipulado, esta alternativa viene a tener menos desventajas en comparación de la utilización de los modelos econométricos tradicionales.

Se recolectaron las variables de entrada para comenzar con la metodología de la valoración contingente, por lo que se tuvo creado previamente nuestro modelo de redes neuronales artificiales fundamentado en la percepción subjetiva e individual de parte de la muestra encuestada relacionada a los servicios ecosistémicos dentro del Centro Histórico de Ayacucho durante el año 2021, complementariamente se recopiló información de las características demográficas y socioeconómicas; cumpliéndose de este modo los requisitos con la finalidad de hallar el valor económico de la Disposición a Pagar por medio del algoritmo de predicción para la valoración económica ambiental. Esta expresión denominada DAP fue definida como el máximo valor económico que cada individuo estaría dispuesto a abonar para obtener una mejora de los servicios ecosistémicos presentes a través de la simulación del mercado hipotético relacionado con las medidas de mitigación ambiental y programas de mejoramiento ecosistémico.

Se pudieron detectar 30 respuestas protesta de las 270 encuestas realizadas en total, siendo equivalente al 11.11% de la muestra, teniendo distintos motivos para que los encuestados asignen una Disposición a Pagar (DAP) equivalente a cero, donde adicionalmente se encontraron cuestionarios incompletos. Precizando que la encuesta piloto recopiló estos 05 motivos típicos siendo estos consignados en el cuestionario final:

- i. El encuestado no confía en los programas ambientales estatales.
- ii. El encuestado no cuenta con suficiente información respecto al tema.

- iii. El encuestado opina que existen problemas con una prioridad mayor.
- iv. No se tienen los recursos necesarios para solventar un gasto adicional.
- v. El encuestado opina que el Estado debe asumir los costos ambientales.

La última razón fue mucho más importante en comparación de los primeros cuatro motivos, que solamente se marcaron por 05 individuos (1.85% de la muestra) de los 30 individuos en desacuerdo. Debido a ello se da a entender que la población opina que es el deber del Estado asumir con los costos medioambientales, siendo elegida esta razón por 21 encuestados (7.78% de la muestra total) de las 30 personas. Por ello se deduce que los residentes del Centro Histórico de Ayacucho se caracterizan por tener un compromiso ambiental limitado relacionado a los servicios ecosistémicos sin querer pagar algún tipo de impuesto y vinculando la responsabilidad enteramente hacia el Estado por los programas de remediación ambiental sin la necesidad de intervención de las personas residentes en la dicha área.

Debido a los posibles sesgos que podrían incluirse en la predicción, se excluyeron las respuestas de protesta dentro del modelo, a pesar de ello, los datos aportados por dichas respuestas de protesta continúan formando parte del estudio. De forma similar, de los 30 cuestionarios de protesta, fueron excluidos los 4 cuestionarios restantes (1.48% de la muestra) en donde no se consignó una respuesta consistente sobre las variables de entrada del modelo ya que se dejaron sin marcar y vacías.

De esta manera, del total de los 270 cuestionarios fueron excluidos los 30 cuestionarios debido a respuestas de protesta y, por ende, se obtuvieron 240 cuestionarios válidos para las etapas de training, validation and testing (entrenamiento, validación y prueba) de nuestro modelo de redes neuronales artificiales.

A través del algoritmo de redes neuronales se determinaron los coeficientes o pesos que reflejan la influencia de las variables de ingreso codificadas en la encuesta. En base a esto, se obtuvieron resultados satisfactorios al comparar la información de estimación de del modelo de redes neuronales artificiales con la información de validación. Así mismo, el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente que es representado mediante los signos resultantes de los coeficientes o pesos del vector columna β_i , cumplió con las predicciones esperadas. Sin embargo, en el modelo de redes neuronales artificiales

se verificó la existencia de 03 variables de ingreso con una influencia insignificante, identificándose a las variables X_4 , X_9 y X_{17} . La prioridad de la mejora de la recreación y el turismo es expresada mediante la variable X_4 , por lo que se intuye la inexistencia de la percepción de importancia relacionada al servicio cultural prestado por diversos motivos, entre los cuales se pueden deberse en su mayoría a la aceptación de la calidad actual de este servicio. De la misma forma, la percepción individual sobre la calidad del aire es representada mediante la variable X_9 , por lo que también se refleja la baja capacidad de discernimiento vinculada a la percepción de los encuestados en relación a la calidad actual del aire, presumiblemente por la baja conciencia ambiental referido a esta problemática o por razones idiosincrásicas propias de cada individuo. Así mismo, el nivel de estudios es expresado mediante la variable X_{17} , por lo que se puede concluir que la preparación académica carece de una influencia importante al momento de valorar este tipo de servicios ecosistémicos, determinando que tanto las personas que cuentan con preparación adecuada, así como las que no cuentan con formación académica, en donde ambos grupos pueden llegar a asumir un compromiso medioambiental según la situación lo amerite.

A través de la arquitectura del tipo perceptrón multicapa de una capa de salida y una capa oculta se definió al modelo de redes neuronales artificiales óptimo vinculado a la valoración ambiental de los servicios ecosistémicos. En base a la cantidad de variables de entrada diseñadas según el cuestionario se estableció que la red neuronal artificial tendría una capa de 21 neuronas para la obtención de la predicción del valor de la disposición a pagar (DAP).

Se decidió utilizar a las redes neuronales artificiales entre las muchas técnicas de inteligencia artificial, debido a que entregan predicciones bastante aproximadas a la realidad, fundamentadas en un proceso de entrenamiento, validación y prueba alimentado a través de la recolección en campo del conjunto de muestras representativas del problema estudiado, que para nuestro caso viene a ser el servicio ecosistémico en el Centro Histórico de Ayacucho. Debe precisarse la alta sensibilidad del modelo de redes neuronales artificiales hacia el conjunto de información de entrenamiento que se introducen durante el proceso de optimización y cálculo de los pesos sinápticos, generando aproximaciones iterativas en relación a la ponderación enfocadas a estas variables de ingreso para nuestro modelo predictivo.

Las etapas de entrenamiento, validación y prueba se realizan de manera exitosa mediante una arquitectura óptima de la red neuronal artificial y adicionalmente, con la cantidad de variables de entrada necesarias que están en función principalmente del problema estudiado, siendo la única forma de configuración por medio del procedimiento empírico de prueba y error. La información de ingreso para el modelo fue obtenida utilizando una fuente del tipo empírica, para lo cual se crearon los cuestionarios durante la etapa inicial de esta investigación en particular enfocados en los residentes del Centro Histórico de Ayacucho.

En base a la precisión conseguida de los resultados se pudo constatar la configuración óptima para nuestro modelo de redes neuronales artificiales; es por ello que se pudo representar de manera cercana a la realidad la problemática de valoración de los servicios ecosistémicos enfocados a calidad del aire y la recreación y turismo en el ámbito de influencia del Centro Histórico de Ayacucho. Es por ello que a través de la validación de la precisión de resultados para el conjunto de prueba pudo confirmarse el poder de predicción del modelo programado.

Es bien conocido de que los valores económicos ambientales tienen una fuerte dependencia de las particularidades culturales y socioeconómicas para cada zona en particular, siendo que esta investigación fue enfocada hacia los residentes del Centro Histórico de Ayacucho, adicionalmente, cabe la posibilidad de que el modelo de redes neuronales artificiales elaborado durante este estudio pueda ser adaptado a otros ámbitos geográficos, así como a problemas de valoración similares a esta línea de investigación. Esencialmente se debe recabar nuevos valores de entrada para esta metodología vinculada a la creación de los cuestionarios diseñados con el enfoque al nuevo servicio ecosistémico a valorar; por lo que se tendrá la certeza que al llevarse a otros escenarios se podrá obtener los datos iniciales para la etapa de entrenamiento y realizar posteriormente el ajuste respectivo del modelo siendo adaptado a los nuevos datos simulados; aunque esta tarea no sería complicada ya que el modelo que fue construido con el fin de contar con esa capacidad de adaptabilidad para nuevos escenarios, radicando en esta versatilidad en la esencia de la metodología aplicada.

Una vez culminado este estudio en relación al servicio ecosistémico, pudo comprobarse que la predicción de la disposición a pagar (DAP) es convertida en una problemática

compleja y no lineal debido a la naturaleza subjetiva de la información de entrada para el modelo programado, siendo recabado por medio de las variables diseñadas dentro del cuestionario. Se pueden aproximar a predicciones de valores económicos precisamente cercanos a un contexto real y esto se confirma con los resultados logrados en este estudio a través de la implementación del modelo de redes neuronales artificiales para la valoración económica ambiental. En base a lo anteriormente mencionado, con el pasar de los años se puede afianzar el uso de modelos basados en las redes neuronales artificiales como una herramienta directriz con una connotación moderna; siendo la finalidad principal de poder conferir de una buena capacidad a los gobiernos locales para poder restaurar, mejorar y remediar los beneficios conferidos por los ecosistemas para la población demandante mediante la creación de políticas públicas de gestión de medioambiental, así como poder calcular los costos medioambientales que estas medidas necesitan. Gracias a esto, tendremos la aptitud y la capacidad para la implementación de manera concisa los objetivos financieros para el desarrollo programas y planes medioambientales con una base de datos sólida que pueda minimizar el impacto que se produce en el ambiente circundante y en la salud de los involucrados, y así maximizar el beneficio que se consigue de forma directa de los servicios ecosistémicos previstos en esta investigación.

Finalmente, mediante el análisis de los resultados y contrastaciones realizadas, pudo obtenerse el valor de la Disposición a Pagar (DAP) característico para cada involucrado siendo este de 40.73 soles (9.93 dólares) por persona por año en el Centro Histórico de Ayacucho para el periodo del año 2021.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron a través del estudio realizado y las aportaciones desarrolladas con la presente investigación son precisas y directas en este apartado. También se mencionaron las futuras líneas de investigación que complementarán este tema enfocado a los servicios ecosistémicos de regulación y cultural con el fin de generar políticas de remediación ambiental.

5.1. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Conclusión primera

El servicio ecosistémico influye en la valoración económica ambiental del Centro Histórico de Ayacucho, 2021. Nuestro modelo basado en redes neuronales artificiales de valoración económica ambiental tiene una gran capacidad de predicción de la disposición a pagar por parte de los encuestados con el fin de financiar un programa de mitigación para la reducción de la degradación de los servicios ecosistémicos con un grado satisfactorio de aproximación al costo de dicho programa. Esto se pudo sustentar mediante la obtención de resultados precisos a través de la contrastación de hipótesis establecida, en donde finalmente pudo obtenerse el valor de la Disposición a Pagar (DAP) característico para cada involucrado siendo este de 40.73 soles (9.93 dólares) por persona por año en el Centro Histórico de Ayacucho para el periodo del año 2021.

Conclusión segunda

El servicio ecosistémico tradicional de regulación influye en la valoración económica ambiental. Esto se pudo sustentar mediante la obtención de resultados precisos a través de la contrastación de hipótesis planteada, usando un nivel de confianza del 95%, con un riesgo del 5% y teniendo un total de 180 grados de libertad para nuestro modelo. Por lo que finalmente se rechazó la hipótesis nula, demostrando la fiabilidad de cada una de las variables restantes siendo el coeficiente de determinación resultante de 0.992.

Conclusión tercera

El servicio ecosistémico tradicional cultural influye en la valoración económica ambiental. Esto se pudo sustentar mediante la obtención de resultados precisos a través de la contrastación de hipótesis planteada, usando un nivel de confianza del 95%, con un

riesgo del 5% y teniendo un total de 180 grados de libertad para nuestro modelo. Por lo que finalmente se rechazó la hipótesis nula, demostrando la fiabilidad de cada una de las variables restantes siendo el coeficiente de determinación resultante de 0.991.

La minimización de la posibilidad de aparición de sesgos durante la programación y creación del modelo de redes neuronales artificiales se dio gracias al procedimiento correcto de valoración económica contingente de los servicios ecosistémicos en la zona de investigación siguiendo directrices plenamente demostradas en las guías internacionales publicadas. En base a ello se creó nuestra simulación del mercado hipotético a través del cuestionario elaborado y adjuntado en los anexos teniendo un diseño según las directrices mencionadas de autoría de expertos de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA). Siendo que nuestro mercado hipotético fue estructurado en 03 bloques: 1) Descripción del servicio que se pretende valorar, 2) Valoración del servicio ambiental y por último la 3) Información sobre la persona encuestada. Al procesar dicha información, se obtuvieron 21 variables de ingreso para el modelo de redes neuronales artificiales en función al análisis realizado en la encuesta piloto y ciñéndonos a las directrices de la valoración económica contingente.

Por último, se debe precisar que la configuración de la arquitectura óptima de nuestro modelo programado en Matlab fundamentado en las redes neuronales artificiales tuvo como objetivo la predicción de la disposición a pagar con el fin de financiar un programa de mitigación para la reducción de la degradación de los servicios ecosistémicos. La arquitectura de redes neuronales artificiales óptima se definió por medio de un modelo del tipo perceptrón multicapa, teniendo 01 capa intermedia oculta y 01 capa de salida. Nuestra red neuronal artificial usó 01 capa de ingreso de 21 neuronas relacionadas al número de variables de entrada que fueron diseñadas y recopiladas de los cuestionarios para hallar la predicción de la disposición a pagar (DAP). Teniéndose la inexistencia de una regla matemática para obtener la cantidad óptima de capas ocultas y la cantidad de neuronas que contendría capa, por ello solamente se suele recurrir a la técnica de ensayo y error hasta alcanzar una cantidad adecuada de capas ocultas y un número de neuronas adecuado en cada capa. Realizando este ensayo de prueba y error, finalmente se consignó una red neuronal con arquitectura de $[21 \times 21 \times 1]$, siendo la arquitectura óptima del modelo específico para nuestro estudio.

5.2. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Consecuentemente al desarrollo del presente estudio se generaron principalmente los cinco aportes que se detallan a continuación:

1. Se logró validar y aplicar el método de valoración contingente mediante la teoría de las redes neuronales artificiales cuyo objetivo fue la predicción de la disposición a pagar (DAP) de la nuestra muestra representativa de la población del Centro Histórico de Ayacucho en el año 2021, relacionado al servicio ecosistémico de regulación y cultural simulado por medio de una encuesta, que recabó datos enfocados a la importancia del servicio ecosistémico, información sobre el servicio ecosistémico, influencia del servicio ecosistémico, prioridad en la mejora del servicio ecosistémico y la percepción individual sobre el servicio ecosistémico de la investigación.
2. Para nuestro modelo de redes neuronales artificiales se introducen datos de entrada codificados por medio de la matriz de pesos sinápticos y que nos proporciona la versatilidad necesaria para los nuevos datos de entrada. Para los ejecutores de políticas medioambientales es de gran utilidad dicha característica, ya fundamentalmente, el fin último vendría a ser el financiamiento mediante los recursos económicos necesarios para programas con un enfoque de concientización sobre la contaminación del aire, planes de educación ambiental y áreas verdes, cuidado del patrimonio local y turismo, uso responsable de áreas públicas y su conservación, monitoreo permanente del nivel de la calidad del aire, disminución del parque automotor de antigüedad mayor a 20 años, fomentar el uso de combustibles refinados con índices menores de emisión de gases contaminantes, sanción para los infractores, prevención de conductas perjudiciales contra el ambiente, campañas publicitarias a través de la instalación de espacios de difusión y el mantenimiento de las vías de forma periódica para el mejoramiento vial en el Centro Histórico de Ayacucho.
3. Tanto en distintos ámbitos geográficos, así como en otras problemáticas vinculadas a la valoración contingente puede adaptarse de forma sencilla la metodología propuesta. Esta adaptabilidad beneficia al periodo de tiempo que

sería necesario para la actualización de los valores económicos ambientales, resultando de esta forma la obtención de la información en tiempo real visualizada en dispositivos electrónicos modernos para su lectura intuitiva, como tabletas o smartphones, teniendo como finalidad la innovación en ciudades eco-sostenibles. Con ello se lograría generar una sinergia entre la economía ambiental, la inteligencia artificial y los servicios ecosistémicos; resultando una actualización de valores ambientales más fluida, siendo suficiente con recopilar nuevamente los valores de entrada tanto económicos, sociales, y culturales de la nueva zona de estudio en el que será implementado el modelo.

4. No se llegó a evidenciar algún sobreajuste durante los procesos de entrenamiento y validación del algoritmo, teniendo en consideración que se tuvo una estructura robusta de 21 neuronas en la red neuronal. La ganancia de información de las variables de entrada fue la base para poder configurar el comité de redes neuronales artificiales, permitiendo de esta forma que la capacidad de predicción y aprendizaje puedan ser más precisos utilizando herramientas de inteligencia artificial las cuales consideran el modelo como un sistema no-lineal.
5. Un aporte fundamental es el de conocer de una manera más precisa el valor económico asignado al servicio ecosistémico por los residentes en el Centro Histórico de Ayacucho, requiriéndose una cantidad de recursos económicos mínimos mediante la obtención de la disposición a pagar. La capacidad de optimizar la dimensión económica por parte de la metodología propuesta vinculada a las tasas e impuestos directamente relacionada a la demanda de los servicios ecosistémicos del área de investigación fue aplicada para una muestra representativa de individuos en el Centro Histórico de Ayacucho, siendo trascendental, ya que el presente estudio viene a ser considerado como la primera valoración económica de los servicios ecosistémicos en el Centro Histórico de Ayacucho en nuestra ciudad.

VI. RECOMENDACIONES

Se ha demostrado la precisión significativa conseguida a través del modelo propuesto en esta investigación, teniendo como característica determinante el poder de predicción del valor económico ambiental relacionada por medio de la disposición a pagar a cambio del beneficio provisto por el servicio ecosistémico. Consecuentemente, para lograr mejorar algunas deficiencias y debilidades puntuales, se consignaron recomendaciones detalladas, que tendrían que ser consideradas en estudios relacionados ya que esta investigación no pudo abordarlas en su totalidad.

La predicción generalizada que pueda consignar adicionalmente las respuestas de protestas del mercado hipotético simulado ayudaría al fortalecimiento del modelo de redes neuronales artificiales de valoración económica ambiental, ya que en la presente investigación dichas respuestas de protesta fueron excluidas ya que contienen una alta variabilidad y así mismo se tendrían posibles sesgos luego de ser adaptadas al modelo sin el estricto procesamiento. Pero la ventaja de considerarlas reside en la información aportada por las respuestas de protesta ya que forman parte de la investigación completa a través de un análisis específico y conclusiones propias.

Inicialmente se probaron opciones tentativas en relación al uso de otro tipo de modelos, tal como los algoritmos de árboles de decisión o las máquinas de vectores de soporte; optando finalmente por la opción más óptima siendo escogido el modelo de redes neuronales artificiales. Al comparar los resultados generados a través de estos modelos, fue contrastante la capacidad de predicción del modelo de redes neuronales artificiales escogido, por lo cual dichos modelos fueron descartados para la presente investigación. Si el objeto de estudio cambia y la investigación se centraría en otras variables, se recomienda considerar dichas metodologías antes de descartarlas ya que la utilidad de ellas radica en problemáticas de estudio específicas.

Con la finalidad de poder comparar el valor económico estipulado para los servicios ecosistémicos para diferentes áreas de estudio, siendo este valor fluctuante en función de las características económicas, culturales y sociales, se recomienda realizar en mayor cantidad los estudios de valoración contingente en escenarios diversos tanto nacionales como locales. En nuestro país, se acrecientan con el tiempo la problemática ambiental en

relación a la idiosincrasia distinta para la zona urbana y rural, afectando de forma más alarmante a los servicios ecosistémicos en zonas que dependen de las actividades extractivas. Asimismo, los valores ambientales económicos tienen particularidades distintas en función a la educación y al nivel de pobreza, siendo determinantes para calcular la disposición a pagar de forma individual, resultando una amplia gama de respuestas distintas cuando se comparan las condiciones culturales que cada individuo presenta.

Actualmente, las tecnologías de la información y comunicaciones se encuentran en pleno auge y mayormente conocidas como TICs, pudiendo obtenerse información en relación la disposición a pagar (DAP) en tiempo real, integrando para ello nuestro modelo de redes neuronales artificiales, siendo complementado mediante cuestionarios en línea o por medio de procesos consultivos en redes sociales, que cobran mayor relevancia por su sencillez y globalidad. Por ello se recomendaría que este tipo de modelos de redes neuronales artificiales sea implementado en las tecnologías actuales ya que se tendría la ventaja de contar con la actualización de los datos de ingreso ajustando los parámetros para generar el valor económico ambiental, en base a los períodos de tiempo deseados, de forma sencilla y automática.

Una aplicación recomendable se daría en relación a las ciudades inteligentes (smart cities) ya que al incorporar la metodología de las redes neuronales artificiales en las tecnologías de la información y comunicaciones podrían obtenerse los datos relacionados a los servicios ecosistémicos estudiados de manera eficaz y disminuyendo la probabilidad de sesgos, enfocados hacia diversas problemáticas medioambientales como por ejemplo la exposición a la contaminación ambiental, visual, acústica y otros. Se recomienda fomentar la colaboración y contribución de todos los individuos involucrados en las zonas de estudio por medio del mapeo colaborativo con el uso de sus teléfonos inteligentes como los smartphones y potenciadas con tecnologías como el uso de una red de sensores remotos para monitorear la calidad del ambiente. Con lo cual, se tendrían tiempos menores durante la etapa de recolección de datos sobre la percepción de los involucrados sobre la importancia de los servicios ecosistémicos relacionados a la disposición a pagar que tiene cada persona. Todo ello se realiza con el fin de obtener los valores de entrada a emplearse para los modelos de deep learning que hallarían la disposición a pagar de manera más fluida y con ello se obtendría el financiamiento inmediato en base al costo

total determinado para que los gobiernos locales solventen programas de mitigación ambiental y políticas medioambientales.

Los valores económicos ambientales para otros tipos de servicios ecosistémicos pueden ser determinados en base a la metodología de la valoración contingente propuesta y formar parte de la solución total para la investigación definitiva de la problemática del impacto ambiental, cuyo financiamiento es de responsabilidad neta de la entidad gubernamental correspondiente. Al enfocarse este modelo de redes neuronales artificiales en programas de movilidad urbana sostenible, gestión de tráfico rodado, políticas territoriales y planificación urbana, podría tener adicionalmente una utilidad importante en el Centro Histórico de Ayacucho. Con ello, se podría tener actualizados los valores de entrada al modelo cada año, partiendo de la disposición a pagar para tener un panorama claro del monto de inversión para ejecutar programas o planes ambientales por parte del sector competente.

Por último, se recomienda utilizar el modelo de redes neuronales artificiales programado en el presente estudio para poder abarcar diferentes líneas de estudio, basados en la disposición a pagar para cualquier tipo de servicio ecosistémico, así como también para los bienes naturales sin valor de mercado definido, por ello es recomendable sensibilizar a la población demandante sobre la importancia de los beneficios que podrían obtenerse de estos servicios y bienes naturales, y así poder llegar a tener un apoyo consistente durante el estudio planteado.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamowicz, W. L., & Graham-Tomasi, T. (1991). Revealed preference tests of nonmarket goods valuation methods. *Journal of Environmental Economics and Management*, 20(1), 29–45. [https://doi.org/10.1016/0095-0696\(91\)90021-A](https://doi.org/10.1016/0095-0696(91)90021-A)
- Alonso, J. (2014). *Valoración económica contingente relacionado a los servicios ecosistémicos en la ciudad de Madrid durante el año 2014* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/33529/>
- Angarita, J. (2016). *Servicios ecosistémicos culturales del territorio indígena del corregimiento La Pedrera, Amazonas-Colombia* [Tesis de Maestría en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3735>
- Arrow, K., Solow, R., Portney, P. R., Leamer, E. E., Radner, R., & Schuman, H. (1993). Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation. *Federal Register - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, 58(10), 4601–4614. https://www.researchgate.net/publication/235737401_Report_of_the_NOAA_panel_on_Contingent_Valuation
- Asadoorian, M., & Kantarelis, D. (2008). *Essentials of inferential statistics*. University Press of America. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511755392>
- Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Oxford University Press. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/525960>
- Camacho, V., & Ruiz, A. (2012). Conceptual framework and classification of ecosystem services. *Revista Bio Ciencias*, 1(4), 3–15. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.02>
- Canchari, E. (2015). *Redes neuronales artificiales de base radial como herramienta de predicción de la contaminación acústica generado por tránsito vehicular* [Tesis de Maestría en Ciencias con Mención en Ingeniería de Transportes, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2664>
- Corredor, E., Fonseca, J., & Páez, E. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 77. <https://doi.org/10.22490/21456453.936>
- De Luca, M. (2017). A comparison between prediction power of artificial neural networks and multivariate analysis in road safety management. *Transport*, 32(4), 379–385. <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.995702>
- Decreto Legislativo N° 1013-MINAM, Aprueba la Ley de creación, organización y

- funciones del Ministerio del Ambiente (D. L. N° 1013-2008-MINAM). Diario Oficial El Peruano (2008). <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/normas-legales/419643-dl-1013-2008>
- Decreto Supremo N° 002-MINAM, Aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente (D. S. N° 002-2017). Diario Oficial El Peruano (2017). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3668-002-2017-minam>
- Decreto Supremo N° 012-MINAM, Aprueba la Política Nacional del Ambiente (PNA) (D. S. N° 012-2009-MINAM). Diario Oficial El Peruano (2009). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/335845-012-2009-minam>
- Decreto Supremo N° 014-MINAM, Aprueba el Plan Nacional de Acción Ambiental PLANAA-PERU:2011-2021 (D. S. N° 014-2011). Diario Oficial El Peruano (2011). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317468-014-2011-minam>
- Decreto Supremo N° 156-MEF, Aprueba el Texto Único Ordenado de la Ley de Tributación Municipal (D. S. N° 156-2004-EF). Diario Oficial El Peruano (2004). <https://www.gob.pe/institucion/mef/normas-legales/226256-156-2004-ef>
- Ferrón-Vílchez, V., De la Torre Ruiz, J. M., & Ortiz de Mandojana, N. (2018). How Much Would Environmental Issues Cost? the Internalization of Environmental Costs in the European Transport Industry. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(9), 2149–2162. <https://doi.org/10.30638/eemj.2015.229>
- Galvez, N. (2013). *Valoración económica de la Reserva Nacional del Titicaca-Puno, Perú* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/245>
- Haab, T. C., & McConnell, K. E. (2002). *Valuing environmental and natural resources: the econometrics of non-market valuation*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781843765431>
- Hanemann, W. M. (1989). Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Response Data: Reply. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(4), 1057–1061. <https://doi.org/10.2307/1242685>
- Haykin, S. S. (2009). *Neural networks and learning machines* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall. <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Haykin-Neural-Networks-and-Learning-Machines-3rd-Edition/PGM320370.html>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw Hill Education.
- Just, R. E., Hueth, D. L., & Schmitz, A. (2005). *The welfare economics of public policy*:

- a practical approach to project and policy evaluation* (1st ed.). Edward Elgar Publishing. <https://www.e-elgar.com/shop/usd/the-welfare-economics-of-public-policy-9781843766889.html>
- Lanzarini, L. C. (2004). Redes neuronales artificiales. Un enfoque práctico. *Journal of Computer Science and Technology (JCS&T)*, 4(2), 122–123. <http://journal.info.unlp.edu.ar/JCST/article/view/905>
- Lera-López, F., Faulin, J., Sánchez, M., & Serrano, A. (2014). Evaluating factors of the willingness to pay to mitigate the environmental effects of freight transportation crossing the pyrenees. *Transportation Research Procedia*, 3(4), 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.023>
- Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Diario Oficial El Peruano (2001). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/Ley-y-reglamento-del-SEIA1.pdf>
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. Diario Oficial El Peruano (2005). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N°-28611.pdf>
- Marques De Sá, J. P. (2001). *Pattern recognition: concepts, methods and applications* (1st ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56651-6>
- Maturana, J. G., & Pintado, M. G. (2013). Validación metodológica del “Cheap Talk” y su aplicación en la valoración económica por la reducción de gases efecto invernadero en Perú. *Panorama Socioeconómico*, 31(46), 2–13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39929212002>
- Mendieta, J. C. (1999). *Manual de valoración económica de bienes no mercadeables: aplicaciones de las técnicas de valoración no mercadeables, y el análisis costo beneficio y medio ambiente*. Universidad de los Andes. Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico. <http://hdl.handle.net/1992/8056>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Manual de valoración económica del patrimonio natural*. Ministerio del Ambiente (MINAM) - Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/09/MANUAL-VALORACIÓN-14-10-15-OK.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Guía de valoración económica del patrimonio natural*.

- Ministerio del Ambiente (MINAM) - Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/GVEPN-30-05-16-baja.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Reporte estadístico departamental: Ayacucho, Agosto 2021*. Ministerio del Ambiente (MINAM) - Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/ayacucho-reporte-estadistico-departamental-agosto-2021>
- Montes, C., & Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas: Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(3), 137–147. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/120>
- Pardavé, W., & Jerez, J. (2014). Valoración económica de la calidad de aire y su impacto en registros epoc de Bucaramanga. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 2(2), 13–18. <https://doi.org/10.15649/2346030x.523>
- Prechelt, L. (1998). Early Stopping – But When? Neural Networks: Tricks of the Trade. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 1524, 55–69. https://doi.org/10.1007/3-540-49430-8_3
- Price, J. H., & Murnan, J. (2004). Research Limitations and the Necessity of Reporting Them. *American Journal of Health Education*, 35(2), 66–67. <https://doi.org/10.1080/19325037.2004.10603611>
- Resolución Ministerial N° 294-MINAM, Aprueba el Plan de Acción para la Mejora de la Calidad del Aire en la Zona de Atención Prioritaria de la Cuenca Atmosférica de Huamanga (R.M. N° 294-2015-MINAM). Diario Oficial El Peruano (2015). <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-294-2015-minam/>
- Riera, P. (1994). *Manual de valoración contingente*. Instituto de Estudios Fiscales - Centro de Publicaciones del Ministerio de Hacienda de España. <https://pagines.uab.cat/pere.riera/content/manual-de-valoración-contingente>
- Ripka de Almeida, A., Luiz da Silva, C., & Hernández, A. (2018). Métodos de valoración económica ambiental: instrumentos para el desarrollo de políticas ambientales. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(4), 246–255. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000400246&nrm=iso
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). *Parallel distributed processing:*

- explorations in the microstructure of cognition* (Vol. 1, Issue 1). MIT Press.
<https://ieeexplore.ieee.org/book/6276825>
- Soliño, M., Prada, A., & Vázquez, M. X. (2010). Designing a forest-energy policy to reduce forest fires in Galicia (Spain): A contingent valuation application. *Journal of Forest Economics*, 16(3), 217–233. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2009.11.006>
- Strogatz, S. H. (2018). *Nonlinear dynamics and chaos with student solutions manual: With applications to physics, biology, chemistry, and engineering* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429492563>
- Tamayo, G. (2001). Diseños muestrales en la investigación. *Semestre Económico*, 4(7), 121–132. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1410>
- Tsokos, C. P., & Welch, R. L. W. (1978). Bayes discrimination with mean square error loss. *Pattern Recognition*, 10(2), 113–123. [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(78\)90019-5](https://doi.org/10.1016/0031-3203(78)90019-5)
- Vásquez, F., Cerda, A., & Orrego, S. A. (2007). *Valoración económica del ambiente: fundamentos económicos, econométricos y aplicaciones*. (1st ed.). Thomson Reuters Argentina.
- Venkatachalam, L. (2004). The contingent valuation method: A review. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(1), 89–124. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(03\)00138-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(03)00138-0)
- Verona, A. J., & Rodríguez, A. (2013). Valoración económica de bienes y servicios ambientales de la Laguna Conache, Laredo (La Libertad, Perú). *REBIOLEST*, 1(1), 54–70. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/182>
- Xu, Q., Zhang, M., Gu, Z., & Pan, G. (2019). Overfitting remedy by sparsifying regularization on fully-connected layers of CNNs. *Neurocomputing*, 328(1), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.03.080>
- Zawieska, J. (2015). Analysis of external costs of transport within the scope of emissions of air pollution and noise. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 14(3), 219–236. <https://doi.org/10.7409/rabdim.015.015>

IX. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

SERVICIO ECOSISTÉMICO Y VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO, 2021.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN
<p>1. PROBLEMA GENERAL ¿De qué manera el servicio ecosistémico influye en la valoración económica ambiental del Centro Histórico de Ayacucho, 2021?</p> <p>2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS a. ¿De qué manera el servicio ecosistémico tradicional de regulación influye en la valoración económica ambiental? b. ¿De qué manera el servicio ecosistémico tradicional cultural influye en la valoración económica ambiental?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL Determinar que el servicio ecosistémico influye en la valoración económica ambiental del Centro Histórico de Ayacucho, 2021.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS a. Determinar que el servicio ecosistémico tradicional de regulación influye en la valoración económica ambiental. b. Determinar que el servicio ecosistémico tradicional cultural influye en la valoración económica ambiental.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL El servicio ecosistémico influye en la valoración económica ambiental del Centro Histórico de Ayacucho, 2021.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS a. El servicio ecosistémico tradicional de regulación influye en la valoración económica ambiental. b. El servicio ecosistémico tradicional cultural influye en la valoración económica ambiental.</p>	<p>1. VARIABLE INDEPENDIENTE X: Servicio ecosistémico.</p> <p>INDICADORES X1: Servicio ecosistémico de regulación X2: Servicio ecosistémico cultural</p> <p>2. VARIABLE DEPENDIENTE Y: Valoración económica ambiental.</p> <p>INDICADORES Y1: Medidas de bienestar con variación compensada. Y2: Medidas de bienestar con variación equivalente.</p>	<p>1. TIPO DE INVESTIGACIÓN Observacional, prospectivo, transversal y analítico.</p> <p>2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo.</p> <p>3. POBLACIÓN La población de estudio está conformada por 485 personas dedicadas a la actividad comercial, demandantes de los servicios ecosistémicos del centro de Ayacucho, el año 2021.</p> <p>4. MUESTRA Se realizará un muestreo probabilístico para la elección de los participantes con nivel de confianza del 95% y error del 5%, siendo la muestra de 270 personas demandantes de los servicios ecosistémicos del Centro Histórico de Ayacucho, el año 2021.</p> <p>5. TÉCNICAS Encuesta. Análisis documental.</p> <p>6. INSTRUMENTOS Cuestionario. Guía de análisis documental.</p>

Anexo 2: Cuestionario de valoración contingente

 ESCUELA DE POSGRADO UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MENCIÓN EN GERENCIA DE PROYECTO Y MEDIO AMBIENTE	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA <i>Universidad y Ambiente</i>
CUESTIONARIO SOBRE LA VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN Y CULTURAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO		
VÍAS EN ESTUDIO: JR. LIBERTAD, JR. CARLOS F. VIVANCO, JR. SOL Y JR. QUINUA		FECHA: 19 Y 20 DE MAYO DEL 2021
TESISTA: KEVIN ALEJANDRO ARIAS CAMPOS		DISTRITO: AYACUCHO
Institucionalidad, propósito y confidencialidad.		
<p>El propósito del presente cuestionario es desarrollar un proyecto de investigación en relación al servicio ecosistémico de regulación y cultural en el Centro Histórico de Ayacucho. Su aporte como entrevistado de manera libre y voluntaria, contribuirá a definir planes y medidas de mitigación para poder brindarle un servicio ecosistémico de calidad siendo fundamental para ello, obtener un valor económico ambiental brindado por cada entrevistado. La información obtenida en este cuestionario es estrictamente confidencial, y será utilizada exclusivamente para fines académicos.</p>		
A. Descripción del servicio ecosistémico de regulación y cultural		
<p>Un servicio ecosistémico es aquel beneficio económico, social y ambiental que un ecosistema aporta a la sociedad. En el Centro Histórico de Ayacucho, cobran gran importancia dos tipos de servicios ecosistémicos: de regulación y cultural.</p> <ul style="list-style-type: none"> El servicio ecosistémico de regulación se referirá específicamente a la calidad del aire; por lo que se pide valorar la calidad del aire con la que cuenta usted actualmente en función a la contaminación ambiental, percepción personal y afectación en el entorno de su vivienda. El servicio ecosistémico cultural se referirá específicamente a los beneficios obtenidos por la recreación y turismo alrededor del Centro Histórico de Ayacucho a la cual pertenece su vivienda, por lo que se pide valorar el beneficio agregado que este servicio es provisto a su persona. <p>Por ello la finalidad del cuestionario es obtener un único valor económico ambiental para ambos servicios ecosistémicos, es decir que su persona asignará un monto en soles según su percepción individual para todos los beneficios que le son proporcionados por estos servicios ecosistémicos.</p>		
<p>GUÍA DEL CUESTIONARIO: Para contestar cada pregunta bastará con marcar la opción elegida con un aspa, pudiendo venir algunas preguntas acompañadas de una línea para que usted pueda ampliar su respuesta si lo desea. <input type="checkbox"/></p>		
<p>1. ¿Qué importancia tiene para usted la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Nada importante <input type="checkbox"/> Poco importante <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Importante <input type="checkbox"/> Muy importante </p>		
<p>2. ¿Qué importancia tiene para usted la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Nada importante <input type="checkbox"/> Poco importante <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Importante <input type="checkbox"/> Muy importante </p>		
<p>3. ¿Qué prioridad tiene para usted la mejora de la calidad del aire, por encima de otros problemas ambientales en el Centro Histórico de Ayacucho?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Nada prioritario <input type="checkbox"/> Poco prioritario <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Prioritario <input type="checkbox"/> Muy prioritario </p>		
<p>4. ¿Qué prioridad tiene para usted la mejora de la recreación y el turismo, por encima de otros problemas ambientales en el Centro Histórico de Ayacucho?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Nada prioritario <input type="checkbox"/> Poco prioritario <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Prioritario <input type="checkbox"/> Muy prioritario </p>		
<p>5. ¿Qué influencia tuvo para usted la calidad del aire como factor determinante en la elección y adquisición de su vivienda en el Centro Histórico de Ayacucho?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Nada influyente <input type="checkbox"/> Poco influyente <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Influyente <input type="checkbox"/> Muy influyente </p>		



ESCALA DE
POSGRADO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MENCIÓN EN GERENCIA DE PROYECTO Y MEDIO AMBIENTE



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
San Cristóbal y Huamanga

CUESTIONARIO SOBRE LA VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN Y CULTURAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO

VÍAS EN ESTUDIO: JR. LIBERTAD, JR. CARLOS F. VIVANCO, JR. SOL Y JR. QUINUA

FECHA: 19 Y 20 DE MAYO DEL 2021

TESISTA: KEVIN ALEJANDRO ARIAS CAMPOS

DISTRITO: AYACUCHO

6. ¿Qué influencia tuvo para usted la recreación y el turismo como factor determinante en la elección y adquisición de su vivienda en el Centro Histórico de Ayacucho?

Nada influyente Poco influyente Regular Influyente Muy influyente

7. ¿Cuán informado se encuentra usted acerca de los beneficios de la mejora de la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho?

Nada informado Poco informado Regular Informado Muy informado

8. ¿Cuán informado se encuentra usted acerca de los beneficios de la mejora de la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho?

Nada informado Poco informado Regular Informado Muy informado

9. ¿Cuál es el nivel en la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho según su percepción y experiencia individual?

Muy malo Malo Regular Bueno Muy bueno

10. ¿Cuál es el nivel de recreación y turismo en el Centro Histórico de Ayacucho según su percepción y experiencia individual?

Muy malo Malo Regular Bueno Muy bueno

B. Valoración Económica Ambiental

Para asignar un valor económico ambiental al servicio ecosistémico de regulación y cultural, es necesario crear un mercado hipotético en el que los participantes expresen su máxima disposición a pagar (DAP) para contribuir al gobierno local, de modo que este, disponga de recursos para desarrollar acciones encaminadas a mejorar el servicio ecosistémico en el Centro Histórico de Ayacucho y de este modo poder brindarle una mejor calidad de vida para usted y su familia.

La Municipalidad Provincial de Huamanga, mediante el SAT-Huamanga, pone en marcha un programa de mejoramiento de los servicios ecosistémicos, enfocados a mejorar la calidad del aire, así como aumentar las áreas de verdes y turismo en el Centro Histórico de Ayacucho. Las medidas dentro del programa se enfocan en: concientización sobre la contaminación del aire, programas de educación ambiental y áreas verdes, cuidado del patrimonio local y turismo, uso responsable de área públicas y su conservación, monitoreo de los niveles de la calidad del aire, reducción del parque automotor con antigüedad anterior al año 2000, utilización de combustibles refinados con menores índices de contaminación vehicular, control y sanción a infractores, publicidad e instalación de banners, obras de mejoramiento vial en el Centro Histórico de Ayacucho.

Para financiar el mencionado programa, se requiere de la contribución de la ciudadanía, que vendría a ser cobrado como un cargo adicional al Impuesto Predial recolectado por el SAT-Huamanga, por lo que el cuestionario solo será rellenado por el jefe de la familia quién es el que realiza los pagos habituales de este tipo de impuesto predial.

CUESTIONARIO SOBRE LA VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN Y CULTURAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO

VÍAS EN ESTUDIO: JR. LIBERTAD, JR. CARLOS F. VIVANCO, JR. SOL Y JR. QUINUA

FECHA: 19 Y 20 DE MAYO DEL 2021

TESISTA: KEVIN ALEJANDRO ARIAS CAMPOS

DISTRITO: AYACUCHO

11. ¿Cuánta importancia le ha dado la Municipalidad Provincial de Huamanga a la mejora de la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho?

- Nada importante
 Poco importante
 Regular
 Importante
 Muy importante

12. ¿Cuánta importancia le ha dado la Municipalidad Provincial de Huamanga a la mejora de la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho?

- Nada importante
 Poco importante
 Regular
 Importante
 Muy importante

13. Según su percepción individual, ¿Cuánto ha afectado la calidad del aire en el Centro Histórico de Ayacucho a la salud física de usted y su familia durante los años de residencia en esta zona?

- Nada influyente
 Poco influyente
 Regular
 Influyente
 Muy influyente

14. Según su percepción individual, ¿Cuánto ha afectado la recreación y el turismo en el Centro Histórico de Ayacucho a la salud mental de usted y su familia durante los años de residencia en esta zona?

- Nada influyente
 Poco influyente
 Regular
 Influyente
 Muy influyente

15. ¿Estaría usted dispuesto a pagar un monto adicional al impuesto predial para poder financiar el programa de mejoramiento de servicios ecosistémicos enfocados en la calidad del aire, y la recreación y turismo?

- Si
 No

Solamente si usted marcó NO como respuesta de rechazo a pagar, especifique las razones que tendría:

- No confía en los programas ambientales del Estado.
 No cuenta con suficiente información en el tema.
 Piensa que existen problemas con mayor prioridad.
 No tiene los recursos necesarios para solventar otro gasto adicional.
 El Estado debe asumir los costos ambientales.

16. Para poder financiar el programa de mejoramiento de servicios ecosistémicos enfocados en la calidad del aire, y la recreación y turismo en el Centro Histórico de Ayacucho ¿Cuánto es la disposición a pagar (DAP) que usted estaría abonando de forma anual como un monto adicional a su impuesto predial?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> S/. 00.00 soles | <input type="checkbox"/> S/. 48.00 soles |
| <input type="checkbox"/> S/. 12.00 soles | <input type="checkbox"/> S/. 60.00 soles |
| <input type="checkbox"/> S/. 24.00 soles | <input type="checkbox"/> S/. 72.00 soles |
| <input type="checkbox"/> S/. 36.00 soles | <input type="checkbox"/> Mayor a S/. 72.00 soles |

CUESTIONARIO SOBRE LA VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN Y CULTURAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO

VÍAS EN ESTUDIO: JR. LIBERTAD, JR. CARLOS F. VIVANCO, JR. SOL Y JR. QUINUA

FECHA: 19 Y 20 DE MAYO DEL 2021

TESISTA: KEVIN ALEJANDRO ARIAS CAMPOS

DISTRITO: AYACUCHO

C. Aspectos Demográficos y Socio Económicos

Finalmente, la tercera parte del cuestionario recoge información demográfica, socioeconómica y geográfica acerca de la persona entrevistada, por lo cual se le pide completar los siguientes datos personales.

17. Género. Masculino Femenino

18. Edad.

Entre 18 a 25 años Entre 26 a 35 años Entre 36 a 45 años Entre 46 a 55 años Mayor a 55 años

19. Nivel de estudios.

Sin estudios Primaria completa Secundaria completa Universitario incompleto Universitario completo

20. Niveles o pisos de su vivienda.

Sótanos y pisos 1 piso 2 pisos 3 pisos 4 pisos o más

21. Tipo de material predominante en su vivienda.

Adobe o tapial Albañilería Concreto Armado Madera Estructura metálica

22. Personas que residen y trabajan permanentemente en su vivienda.

Menos de 5 personas De 5 a 10 personas De 10 a 15 personas De 15 a 20 personas Más de 20 personas

23. Ingreso económico familiar total en la actualidad.

Menor a S/. 2000 Entre S/. 2000 y S/. 4000 Entre S/. 4000 y S/. 6000 Entre S/. 6000 y S/. 8000 Mayor a S/. 8000

Muchas gracias por su participación.

Anexo 3: Lista de Acrónimos

DAA	Disposición a Aceptar
DAP	Disposición a Pagar
DGEVFPN	Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
LMP	<i>Least Mean Square</i>
MCE	Método de Costos Evitados
MCV	Método de Costo de Viaje
MEA	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
MINAM	Ministerio del Ambiente
MLP	<i>Multilayer Perceptron</i>
MPH	Municipalidad Provincial de Huamanga
MVC	Método de Valoración Contingente
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PLANAA	Plan Nacional de Acción Ambiental
PNA	Política Nacional del Ambiente
RNA	Red Neuronal Artificial
SEIA	Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
VE	Valor de Existencia
VET	Valor Económico Total
VL	Valor de Legado
VNU	Valor de No Uso
VU	Valor de Uso
VUD	Valor de Uso Directo
VUI	Valor de Uso Indirecto

Anexo 4: Código de Programación

```
function varargout = Contingent_Valuation_Method_UNSCH(varargin)
% CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH MATLAB code for
Contingent_Valuation_Method_UNSCH.fig
%   CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH, by itself, creates a new
CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH returns the handle to a new
CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%
CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%   function named CALLBACK in CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH.M with the
given input arguments.
%
%   CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH('Property','Value',...) creates a new
CONTINGENT_VALUATION_METHOD_UNSCH or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before Contingent_Valuation_Method_UNSCH_OpeningFcn
gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to
Contingent_Valuation_Method_UNSCH_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
Contingent_Valuation_Method_UNSCH

% Last Modified by GUIDE v2.5 17-Jul-2021 22:59:52

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Contingent_Valuation_Method_UNSCH_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Contingent_Valuation_Method_UNSCH_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Contingent_Valuation_Method_UNSCH is made visible.
function Contingent_Valuation_Method_UNSCH_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)

% Choose default command line output for Contingent_Valuation_Method_UNSCH
handles.output = hObject;

% Update handles structure
```

```

guidata(hObject, handles);

%-----Centramos la pantalla-----
%En el archivo *.fig establecer UNITS en "pixels"
scrsz = get(0, 'ScreenSize');
pos_act=get(gcf, 'Position');
xr=scrsz(3) - pos_act(3);
xp=round(xr/2);
yr=scrsz(4) - pos_act(4);
yp=round(yr/2);
set(gcf, 'Position', [xp yp pos_act(3) pos_act(4)]);
%-----

imagen_fondo=imread('Fondo_de_Pantalla.jpg');
axes(handles.Imagen_Fondo);
image(imagen_fondo);axis off;

imagen_UNSCH=imread('Logo_UNSCH.jpg');
axes(handles.UNSCH);
image(imagen_UNSCH);axis off;

set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar, 'visible', 'off');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar, 'visible', 'off');
set(handles.Panel_Informacion, 'visible', 'off');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos, 'visible', 'off');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica, 'visible', 'off');
set(handles.SIM_Panel_Datos, 'visible', 'off');
set(handles.Panel_Imagen, 'visible', 'on');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion, 'visible', 'off');

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Contingent_Valuation_Method_UNSCH_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

% -----
function TOOLBAR_Nuevo_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
close(Contingent_Valuation_Method_UNSCH)
Contingent_Valuation_Method_UNSCH

% -----
function SUBMENU_TRAIN_Ingreso_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar, 'visible', 'on');
set(handles.Panel_Informacion, 'visible', 'on');

set(handles.TRAIN_Panel_Datos, 'visible', 'off');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar, 'visible', 'off');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica, 'visible', 'off');
set(handles.SIM_Panel_Datos, 'visible', 'off');
set(handles.Panel_Imagen, 'visible', 'off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion, 'visible', 'off');

% --- Executes on button press in TRAIN_Push_Dimensionar.
function TRAIN_Push_Dimensionar_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.TRAIN_Panel_Datos, 'visible', 'on');
set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar, 'visible', 'on');
set(handles.Panel_Informacion, 'visible', 'on');

set(handles.SIM_Panel_Datos, 'visible', 'off');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar, 'visible', 'off');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica, 'visible', 'off');
set(handles.Panel_Imagen, 'visible', 'off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion, 'visible', 'off');

global num_datos num_variables
num_datos = str2double(get(handles.TRAIN_num_datos, 'String'));

```

```

num_variables = str2double(get(handles.TRAIN_num_variables,'String'));

%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if isnan(num_datos) || isnan(num_variables)
    errordlg('El valor ingresado debe ser numérico.','ERROR')
    set(handles.TRAIN_num_datos,'String',0);
    set(handles.TRAIN_num_variables,'String',0);
    num_datos=0;
    num_variables=0;
    return
end
%-----
%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if num_datos<=0 || num_variables<=0
    errordlg('El valor ingresado debe ser mayor a cero.','ERROR')
    set(handles.TRAIN_num_datos,'String',0);
    set(handles.TRAIN_num_variables,'String',0);
    num_datos=0;
    num_variables=0;
    return
end
%-----

Tabla_Vacia_X = cell(num_datos,num_variables);
Tabla_Vacia_Y = cell(num_datos,1);
Tabla_Vacia_X(:,:)={' '};
Tabla_Vacia_Y(:,:)={' '};
set(handles.TRAIN_Table_InputX,'data',Tabla_Vacia_X);
set(handles.TRAIN_Table_OutputY,'data',Tabla_Vacia_Y);
set(handles.TRAIN_Table_InputX,'columneditable',true (1,num_variables))
set(handles.TRAIN_Table_OutputY,'columneditable',true (1,1))

function TRAIN_Push_Importar_InputX_Callback(hObject, eventdata, handles)

%-----Importaremos los datos de Excel para la variable X-----
[Archivo_Excel,Direccion_Excel]=uigetfile('*.xlsx','Importar datos para la red neuronal');

if Archivo_Excel==0
    return
else
    Datos_Excel_X = xlsread(strcat(Direccion_Excel,Archivo_Excel),-1);
end

set(handles.TRAIN_Table_InputX,'data',Datos_Excel_X);

function TRAIN_Push_Importar_OutputY_Callback(hObject, eventdata, handles)

%-----Importaremos los datos de Excel para la variable Y-----
[Archivo_Excel,Direccion_Excel]=uigetfile('*.xlsx','Importar datos para la red neuronal');

if Archivo_Excel==0
    return
else
    Datos_Excel_Y = xlsread(strcat(Direccion_Excel,Archivo_Excel),-1);
end

set(handles.TRAIN_Table_OutputY,'data',Datos_Excel_Y);

function SUBMENU_TRAIN_Normalizar_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.TRAIN_Table_InputX_Norm,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Table_OutputY_Norm,'visible','on');

```

```

set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','off');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica,'visible','off');
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','off');
set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');

global num_datos num_variables
num_datos = str2double(get(handles.TRAIN_num_datos,'String'));
num_variables = str2double(get(handles.TRAIN_num_variables,'String'));

%---Mensaje de error en caso no se hayan ingresado los datos de entrada---
if isnan(num_datos) || isnan(num_variables)
    errordlg('Primero debe ingresar los datos de entrada.','ERROR')
    set(handles.TRAIN_num_datos,'String',0);
    set(handles.TRAIN_num_variables,'String',0);
    num_datos=0;
    num_variables=0;
    return
end
%-----
%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if num_datos<=0 || num_variables<=0
    errordlg('Primero debe ingresar los datos de entrada.','ERROR')
    set(handles.TRAIN_num_datos,'String',0);
    set(handles.TRAIN_num_variables,'String',0);
    num_datos=0;
    num_variables=0;
    return
end
%-----

Tabla_Vacia_X = cell(num_datos,num_variables);
Tabla_Vacia_Y = cell(num_datos,1);
Tabla_Vacia_X(:,:)={' '};
Tabla_Vacia_Y(:,:)={' '};

set(handles.TRAIN_Table_InputX_Norm,'data',Tabla_Vacia_X);
set(handles.TRAIN_Table_OutputY_Norm,'data',Tabla_Vacia_Y);

%Guardamos las matrices como Transpuesta (Mapminmax trabaja por filas)
% Datos_Ingreso_X = (N°Datos,N°Variables) Ejem:(200,7)
% Data_Tabla_X = (N°Variables,N°Datos) Ejem:(7,200)
% X_Norm = (N°Variables,N°Datos) Ejem:(7,200)

global Data_Tabla_X Data_Tabla_Y
Data_Tabla_X=(get(handles.TRAIN_Table_InputX,'data'))';
Data_Tabla_Y=(get(handles.TRAIN_Table_OutputY,'data'))';

%-----Algoritmo de Normalización-----
%norm=limite_inf+(limite_sup-limite_inf)*(X-Xmin)/(Xmax-Xmin)
%norm=-1+2*(X-Xmin)/(Xmax-Xmin)

%min_X= min(Data_Tabla_X);
%max_X= max(Data_Tabla_X);
%X_norm=(2*(Data_Tabla_X-min_X)./(max_X-min_X))-1;
%min_Y= min(Data_Tabla_Y);
%max_Y=max(Data_Tabla_Y);
%Y_norm=(2*(Data_Tabla_Y-Y_min)./(Y_max-Y_min))-1;

[X_Norm,PS_X]=mapminmax(Data_Tabla_X,-1,1);
%X_again = mapminmax('reverse',X_Norm,PS);

[Y_Norm,PS_Y]=mapminmax(Data_Tabla_Y,-1,1);
%Y_again = mapminmax('reverse',Y_Norm,PS);

```

```

set(handles.TRAIN_Table_InputX_Norm,'data',X_Norm');
set(handles.TRAIN_Table_OutputY_Norm,'data',Y_Norm');

%Conjunto de datos normalizados para el entrenamiento de la RNA
global train_input train_output PS_train_output
train_input=X_Norm;
train_output=Y_Norm;
PS_train_output=PS_Y;
assignin('base','train_input',train_input)
assignin('base','train_output',train_output)
assignin('base','PS_train_output',PS_train_output)

% -----
function SUBMENU_TRAIN_Estadistica_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to SUBMENU_TRAIN_Estadistica (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica,'visible','on');

set(handles.TRAIN_Table_InputX_Norm,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Table_OutputY_Norm,'visible','on');

set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','off');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','off');
set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');

global num_datos num_variables
num_datos = str2double(get(handles.TRAIN_num_datos,'String'));
num_variables = str2double(get(handles.TRAIN_num_variables,'String'));

%---Mensaje de error en caso no se hayan ingresado los datos de entrada---
if isnan(num_datos) || isnan(num_variables)
    errordlg('Primero debe ingresar los datos de entrada.','ERROR')
    set(handles.TRAIN_num_datos,'String',0);
    set(handles.TRAIN_num_variables,'String',0);
    num_datos=0;
    num_variables=0;
    return
end
%-----
%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if num_datos<=0 || num_variables<=0
    errordlg('Primero debe ingresar los datos de entrada.','ERROR')
    set(handles.TRAIN_num_datos,'String',0);
    set(handles.TRAIN_num_variables,'String',0);
    num_datos=0;
    num_variables=0;
    return
end
%-----

global Data Tabla X Data_Tabla_Y
Data_Tabla_X=get(handles.TRAIN_Table_InputX,'Data');
Data_Tabla_Y=get(handles.TRAIN_Table_OutputY,'Data');
num_datos = str2double(get(handles.TRAIN_num_datos,'String'));
num_variables = str2double(get(handles.TRAIN_num_variables,'String'));

Num_Datos=num_datos*ones(num_variables+1,1);
Promedio=[mean(Data_Tabla_X),mean(Data_Tabla_Y)]';
Desviacion_Estandar=[std(Data_Tabla_X),std(Data_Tabla_Y)]';
Max=[max(Data_Tabla_X),max(Data_Tabla_Y)]';
Min=[min(Data_Tabla_X),min(Data_Tabla_Y)]';

```

```

Tabla_Total_Estadisticas=[Num_Datos,Promedio,Desviacion_Estandar,Max,Min];
set(handles.TRAIN_Table_Estadística,'data',Tabla_Total_Estadisticas);

function SUBMENU_SIM_Ingreso_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to SUBMENU_SIM_Ingreso (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','off');
set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadística,'visible','on');

set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','off');
set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');

% --- Executes on button press in SIM_Push_Dimensionar.
function SIM_Push_Dimensionar_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','off');
set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadística,'visible','on');
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','on');

set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');

global num_variables num_datos_simul

num_variables = str2double(get(handles.TRAIN_num_variables,'String'));%número
de variables
num_datos_simul = str2double(get(handles.SIM_num_datos,'String'));%número de
datos

%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if isnan(num_datos_simul)
    errordlg('El valor ingresado debe ser numérico.','ERROR')
    set(handles.SIM_num_datos,'String',0);
    num_datos_simul=0;
    return
end
%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if isnan(num_datos_simul)
    errordlg('El valor ingresado debe ser mayor a cero.','ERROR')
    set(handles.SIM_num_datos,'String',0);
    num_datos_simul=0;
    return
end
%-----

Tabla_Vacia_SimuX = cell(num_datos_simul,num_variables);
Tabla_Vacia_SimuY = cell(num_datos_simul,1);
Tabla_Vacia_SimuX(:,:)={' '};
Tabla_Vacia_SimuY(:,:)={' '};
set(handles.SIM_Table_InputX,'data',Tabla_Vacia_SimuX);
set(handles.SIM_Table_OutputY,'data',Tabla_Vacia_SimuY);
set(handles.SIM_Table_InputX,'columneditable',true (1,num_variables))

% --- Executes on button press in SIM_Push_Importar_InputX.

```

```

function SIM_Push_Importar_InputX_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to SIM_Push_Importar_InputX (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

%-----Importaremos los datos de Excel para la Simulación X-----
[Archivo_Excel,Direccion_Excel]=uigetfile('*.xlsx','Importar datos para la red
neuronal');

if Archivo_Excel==0
    return
else
    Datos_Excel_SimuX = xlsread(strcat(Direccion_Excel,Archivo_Excel),-1);
end

set(handles.SIM_Table_InputX,'data',Datos_Excel_SimuX);

% --- Executes on button press in SIM_Push_Importar_OutputY.
function SIM_Push_Importar_OutputY_Callback(hObject, eventdata, handles)

%-----Importaremos los datos de Excel para la Simulación Y-----
[Archivo_Excel,Direccion_Excel]=uigetfile('*.xlsx','Importar datos para la red
neuronal');

if Archivo_Excel==0
    return
else
    Datos_Excel_SimuY = xlsread(strcat(Direccion_Excel,Archivo_Excel),-1);
end

set(handles.SIM_Table_OutputY,'data',Datos_Excel_SimuY);

% -----
function SUBMENU_SIM_Normalizar_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.SIM_Table_InputX_Norm,'visible','on');
set(handles.SIM_Table_OutputY_Norm,'visible','on');

set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','off')
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica,'visible','on');
set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');

global num_variables num_datos_simul

num_variables = str2double(get(handles.TRAIN_num_variables,'String'));%número
de variables
num_datos_simul = str2double(get(handles.SIM_num_datos,'String'));%número de
datos

%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if isnan(num_datos_simul)
    errordlg('El valor ingresado debe ser numérico.','ERROR')
    set(handles.SIM_num_datos,'String',0);
    num_datos_simul=0;
    return
end
%-----
%-----Mensaje de error debido a datos erroneos de entrada-----
if isnan(num_datos_simul)
    errordlg('El valor ingresado debe ser mayor a cero.','ERROR')
    set(handles.SIM_num_datos,'String',0);
    num_datos_simul=0;
    return
end

```

```

end
%-----

Tabla_Vacia_SimuX = cell(num_datos_simul,num_variables);
Tabla_Vacia_SimuY = cell(num_datos_simul,1);
Tabla_Vacia_SimuX(:,:)={' '};
Tabla_Vacia_SimuY(:,:)={' '};
set(handles.SIM_Table_InputX_Norm,'data',Tabla_Vacia_SimuX);
set(handles.SIM_Table_OutputY_Norm,'data',Tabla_Vacia_SimuY);

%Guardamos las matrices como Transpuesta (Mapminmax trabaja por filas)
% Datos_Ingreso_X = (N°Datos,N°Variables) Ejem:(200,7)
% Data_Tabla_X = (N°Variables,N°Datos) Ejem:(7,200)
% X_Norm = (N°Variables,N°Datos) Ejem:(7,200)

global Data_Tabla_X_Sim Data_Tabla_Y_Sim
Data_Tabla_X_Sim=(get(handles.SIM_Table_InputX,'data'))';
Data_Tabla_Y_Sim=(get(handles.SIM_Table_OutputY,'data'))';

%-----Algoritmo de Normalización-----
%norm=limite_inf+(limite_sup-limite_inf)*(X-Xmin)/(Xmax-Xmin)
%norm=-1+2*(X-Xmin)/(Xmax-Xmin)

%min_X= min(Data_Tabla_X);
%max_X= max(Data_Tabla_X);
%X_norm=(2*(Data_Tabla_X-min_X)./(max_X-min_X))-1;
%min_Y= min(Data_Tabla_Y);
%max_Y=max(Data_Tabla_Y);
%Y_norm=(2*(Data_Tabla_Y-Y_min)./(Y_max-Y_min))-1;

[X_Norm_Sim,PS_X_Sim]=mapminmax(Data_Tabla_X_Sim,-1,1);
%X_again = mapminmax('reverse',X_Norm,PS);

[Y_Norm_Sim,PS_Y_Sim]=mapminmax(Data_Tabla_Y_Sim,-1,1);
%Y_again = mapminmax('reverse',Y_Norm,PS);

set(handles.SIM_Table_InputX_Norm,'data',X_Norm_Sim');
set(handles.SIM_Table_OutputY_Norm,'data',Y_Norm_Sim');

%Conjunto de datos normalizados para el entrenamiento de la RNA
global test_input test_output PS_test_output
test_input=X_Norm_Sim;
test_output=Y_Norm_Sim;
PS_test_output=PS_Y_Sim;
assignin('base','test_input',test_input)
assignin('base','test_output',test_output)
assignin('base','PS_test_output',PS_test_output)

% -----
function SUBMENU_SIM_Simulacion_Callback(hObject, eventdata, handles)

%Conjunto de MENU_Entren_y_Simul:
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','off');
set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica,'visible','on');
set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');

RNA_train_output = evalin('base','RNA_train_output');
PS_train_output = evalin('base','PS_train_output');
Y_TRAIN = mapminmax('reverse',RNA_train_output,PS_train_output);
set(handles.TRAIN_Table_RNA,'Data',Y_TRAIN);

```

```

RNA_test_output = evalin('base','RNA_test_output');
PS_test_output = evalin('base','PS_test_output');
Y_TEST = mapminmax('reverse',RNA_test_output,PS_test_output);
set(handles.SIM_Table_RNA,'Data',Y_TEST);

% --- Executes on button press in TRAIN_Push_SimRNA_OutputY.
function TRAIN_Push_SimRNA_OutputY_Callback(hObject, eventdata, handles)

RNA_train_output = evalin('base','RNA_train_output');
PS_train_output = evalin('base','PS_train_output');
Y_TRAIN = mapminmax('reverse',RNA_train_output,PS_train_output);
set(handles.TRAIN_Table_RNA,'Data',Y_TRAIN);

% --- Executes on button press in SIM_Push_SimRNA_OutputY.
function SIM_Push_SimRNA_OutputY_Callback(hObject, eventdata, handles)

RNA_test_output = evalin('base','RNA_test_output');
PS_test_output = evalin('base','PS_test_output');
Y_TEST = mapminmax('reverse',RNA_test_output,PS_test_output);
set(handles.SIM_Table_RNA,'Data',Y_TEST);

% -----
function SUBMENU_RNA_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','off');
set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica,'visible','on');

set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');

nntool

% -----
function SUBMENU_RLM_Ingreso_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica,'visible','on');

set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');
set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','off');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','off');
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','off');

function SUBMENU_RLM_Ecuacion_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.Panel_Regresion_Ecuacion,'visible','on');
set(handles.Panel_Informacion,'visible','off');

set(handles.TRAIN_Panel_Dimensionar,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Datos,'visible','on');
set(handles.TRAIN_Panel_Estadistica,'visible','on');
set(handles.SIM_Panel_Dimensionar,'visible','off');
set(handles.SIM_Panel_Datos,'visible','off');
set(handles.Panel_Imagen,'visible','off');

global num_datos num_variables
num_datos = str2double(get(handles.TRAIN_num_datos,'String'));
num_variables = str2double(get(handles.TRAIN_num_variables,'String'));

X=get(handles.TRAIN_Table_InputX,'Data');

```

```

Y=get(handles.TRAIN_Table_OutputY,'Data');

X1=[ones(num_datos,1),X];
X1t=X1';

Beta=(X1t*X1)\(X1t*Y);

Y_RLM=X1*Beta; %predicción Y_RLM
ui=Y-Y_RLM; %Residuo Y-Y_RLM

%Varianza residual de RLM
%SCR=Suma de Cuadrados Residual
SCR=sum(ui.^2);
SCR2=SCR/(num_datos-num_variables-1);
SR=SCR2^0.5;

%Intervalo de confianza para la varianza
%Tabla Chi cuadrado (Para 6 GDL se tiene 12.5916 y 1.6354)
IC=[SCR/12.5916,SCR/1.6354];

%T-student
qi=diag(inv(X1t*X1));
t=abs(Beta./(SR*(qi.^0.5)));

%SCT=Suma de Cuadrados Total
%SCE=Suma de Cuadrados Explicada
%SCR=Suma de Cuadrados Residual
Ym=mean(Y);
SCT=sum((Y-Ym).^2);
SCE=sum((Y_RLM-Ym).^2);
R2=SCE/SCT;
R=R2^0.5;
R2aj=1-((SCR/(num_datos-num_variables-1))/(SCT/(num_datos-1)));

%Ecuación
ecuac=strcat('Y= ',num2str(Beta(1)), ' + ',num2str(Beta(2)), 'X1 +
',num2str(Beta(3)),...
'X2 + ', num2str(Beta(4)), 'X3 + ', num2str(Beta(5)), 'X4 + ',
num2str(Beta(6)), 'X5 + ',...
num2str(Beta(7)), 'X6 + ', num2str(Beta(8)), 'X7', ' + ',num2str(Beta(9)), 'X8 +
',...
num2str(Beta(10)), 'X9 + ', num2str(Beta(11)), 'X10 + ', num2str(Beta(12)), 'X11
+ ',...
num2str(Beta(13)), 'X12 + ', num2str(Beta(14)), 'X13 + ', ' +
',num2str(Beta(15)), 'X14 + ',...
num2str(Beta(16)), 'X15 + ', num2str(Beta(17)), 'X16 + ', num2str(Beta(18)), 'X17
+ ',...
num2str(Beta(19)), 'X18 + ', num2str(Beta(20)), 'X19 + ', num2str(Beta(21)), 'X20
+ ',...
num2str(Beta(22)), 'X21');
set(handles.Text_Regresion_Ecuacion,'string',ecuac);

%Tablas
tab1=[Beta,t];
tab2=[Y,Y_RLM,ui];
tab3=[SCR,SR;SCT;SCE;IC(1);IC(2);R2;R;R2aj];
set(handles.Table1_Regresion_Ecuacion,'data',tab1);
set(handles.Table2_Regresion_Ecuacion,'data',tab2);
set(handles.Table3_Regresion_Ecuacion,'data',tab3);
set(handles.DAP,'String',Ym);

function TRAIN_num_datos_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to TRAIN_num_datos (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

function TRAIN_num_datos_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% -----
function datosdesnorm_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.psalida,'visible','on');

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function SIM_num_datos_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function TRAIN_num_variables_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to TRAIN_num_variables (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function TRAIN_num_variables_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to TRAIN_num_variables (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% -----
function arqred_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to arqred (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function TRAIN_Table_Estadistica_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to TRAIN_Table_Estadistica (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% -----

function Edit_Cost_Regresion_Estruc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Cost_Regresion_Estruc (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Edit_Cost_Regresion_Estruc
as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
Edit_Cost_Regresion_Estruc as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Edit_Cost_Regresion_Estruc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Cost_Regresion_Estruc (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function Edit_Cost_Regresion_Arq_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Cost_Regresion_Arq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Edit_Cost_Regresion_Arq as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
Edit_Cost_Regresion_Arq as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Edit_Cost_Regresion_Arq_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Cost_Regresion_Arq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Edit_Time_Regresion_Arq_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Time_Regresion_Arq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Edit_Time_Regresion_Arq as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
Edit_Time_Regresion_Arq as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Edit_Time_Regresion_Arq_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Time_Regresion_Arq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Edit_Time_Regresion_Estruc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Time_Regresion_Estruc (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Edit_Time_Regresion_Estruc
as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
Edit_Time_Regresion_Estruc as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Edit_Time_Regresion_Estruc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Edit_Time_Regresion_Estruc (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

```

```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in SIM_Table_OutputY.
function SIM_Table_OutputY_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to SIM_Table_OutputY (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see MATLAB.UI.CONTROL.TABLE)
%           Indices: row and column indices of the cell(s) edited
%           PreviousData: previous data for the cell(s) edited
%           EditData: string(s) entered by the user
%           NewData: EditData or its converted form set on the Data property.
Empty if Data was not changed
%           Error: error string when failed to convert EditData to appropriate
value for Data
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function SIM_num_datos_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to SIM_num_datos (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of SIM_num_datos as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of SIM_num_datos
as a double

% -----
function MENU_Entrenamiento_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to MENU_Entren_y_Simul (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function MENU_Entren_y_Simul_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to MENU_Entren_y_Simul (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function MENU_Simulacion_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to MENU_Simulacion (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function MENU_Regresion_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to MENU_Regresion (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function DAP_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DAP (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of DAP as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of DAP as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function DAP_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DAP (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

**UNSCH**ESCUELA DE
POSGRADO**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD 110-2022-UNSCH-EPG/EGAP**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado - UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N^º 198-2021-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR:	Bach. KEVIN ALEJANDRO ARIAS CAMPOS
MAESTRÍA:	CIENCIAS DE LA INGENIERIA
MENCIÓN:	GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
TÍTULO DE TESIS:	SERVICIO ECOSISTÉMICO Y VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO, 2021
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD:	19% de similitud
N ^º DE TRABAJO:	1910658128
FECHA:	.27-sept.-2022

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 28 de setiembre del 2022.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTOBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO

B/Ing. Edith Geovana Asto Peña
Responsable Área Académica

SERVICIO ECOSISTÉMICO Y VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO, 2021

por Kevin Alejandro Arias Campos

Fecha de entrega: 27-sep-2022 03:14p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1910658128

Nombre del archivo: Tesis_Posgrado_Kevin_Alejandro_Arias_Campos_V9.docx (12.33M)

Total de palabras: 34359

Total de caracteres: 197028

SERVICIO ECOSISTÉMICO Y VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE AYACUCHO, 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

17%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	17%
2	mcf.gsfc.nasa.gov Fuente de Internet	<1%
3	oa.upm.es Fuente de Internet	<1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
5	vsip.info Fuente de Internet	<1%
6	issuu.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	xdocs.net Fuente de Internet	<1 %
10	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.upci.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
17	redd.unfccc.int Fuente de Internet	<1 %
18	siar.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo