

EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Research in Computing Science

Vol. 155 No. 8
August 2026

Research in Computing Science

Series Editorial Board

Editors-in-Chief:

Grigori Sidorov, *CIC-IPN, Mexico*
Gerhard X. Ritter, *University of Florida, USA*
Jean Serra, *Ecole des Mines de Paris, France*
Ulises Cortés, *UPC, Barcelona, Spain*

Associate Editors:

Jesús Angulo, *Ecole des Mines de Paris, France*
Jihad El-Sana, *Ben-Gurion Univ. of the Negev, Israel*
Alexander Gelbukh, *CIC-IPN, Mexico*
Ioannis Kakadiaris, *University of Houston, USA*
Petros Maragos, *Nat. Tech. Univ. of Athens, Greece*
Julian Padget, *University of Bath, UK*
Mateo Valero, *UPC, Barcelona, Spain*
Olga Kolesnikova, *CIC-IPN, Mexico*
Rafael Guzmán, *Univ. of Guanajuato, Mexico*
Juan Manuel Torres Moreno, *U. of Avignon, France*
Miguel González-Mendoza, *ITESM, Mexico*

Editorial Coordination:

Alejandra Ramos Porras

Research in Computing Science, Año 25, Volumen 155, No. 8, agosto de 2026, es una publicación mensual, editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro de Investigación en Computación. Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Esq. Av. Miguel Othon de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738, Ciudad de México, Tel. 57 29 60 00, ext. 56571. <https://www.rcs.cic.ipn.mx>. Editor responsable: Dr. Grigori Sidorov. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2026-043011360400-102. ISSN 3122-4725, ambos otorgados por el Instituto Politécnico Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: el Centro de Investigación en Computación, Dr. Grigori Sidorov, Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Esq. Av. Miguel Othon de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738. Fecha de última modificación 01 de agosto de 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

Research in Computing Science, year 25, Volume 155, No. 8, August 2026, is published monthly by the Center for Computing Research of IPN.

The opinions expressed by the authors does not necessarily reflect the editor's posture.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of Centre for Computing Research of the IPN.

Advances in Artificial Intelligence

Hugo Jair Escalante (ed.)



Instituto Politécnico Nacional
“La Técnica al Servicio de la Patria”



Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación
México 2026

ISSN: 3122-4725

Copyright © Instituto Politécnico Nacional 2026

Former ISSNs: 1870-4069, 1665-9899

Instituto Politécnico Nacional (IPN)
Centro de Investigación en Computación (CIC)
Av. Juan de Dios Bátiz s/n esq. M. Othón de Mendizábal
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Zacatenco
07738, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México

<http://www.rcs.cic.ipn.mx>

<http://www.ipn.mx>

<http://www.cic.ipn.mx>

The editors and the publisher of this journal have made their best effort in preparing this special issue, but make no warranty of any kind, expressed or implied, with regard to the information contained in this volume.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored on a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, including electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior permission of the Instituto Politécnico Nacional, except for personal or classroom use provided that copies bear the full citation notice provided on the first page of each paper.

Indexed in LATINDEX, DBLP and Periodica

Electronic edition

Table of Contents

	Page
Diseño de un dataset multidimensional para el análisis de factores asociados a la ansiedad en estudiantes universitarios mexicanos 5 <i>Edgar Jahir Hernández-Andrade, Mónica Ruiz-Martínez, Maritza Bustos-López, Alfonso Flores-Leal, Ignacio López-Martínez</i>	5
EcoAlertX: Aplicación para incendios forestales 19 <i>Jocelyn Corona Mondragon, Alexander Alvaro Lopez, Maria Guadalupe Pineda-Arizmendi</i>	19
Sistema de etiquetado asistido para el entrenamiento de modelos de visión artificial usados en la detección de ninfas de mosca blanca 33 <i>Juan Carlos Gonzalez Nava, Modesto Medina-Melendrez, Diana Karina Jacobo Rubio</i>	33
Uso de un modelo de lenguaje adaptado para la evaluación emocional y el apoyo en la salud mental..... 45 <i>Marlen Areli González Salinas, Axel Herroz Herrera, Marissa Montoya Gómez, Mariana Pérez Montie, Laila Abigail Chavez Guerrero</i>	45
De la expectativa a la reinterpretación selectiva mínima coherente: hacia un modelo cognitivo del humor..... 59 <i>Grigori Sidorov</i>	59

Diseño de un dataset multidimensional para el análisis de factores asociados a la ansiedad en estudiantes universitarios mexicanos

Edgar Jahir Hernández-Andrade¹, Mónica Ruiz-Martínez¹,
Maritza Bustos-López², Alfonso Flores-Leal¹, Ignacio López-Martínez¹

¹ Instituto Tecnológico de Orizaba/Tecnológico Nacional de México, Orizaba,
México

² Instituto Tecnológico de Orizaba,
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Orizaba,
México

{m24010203, monica.rm, maritza.bl, alfonso.fl,
ignacio.lm} @orizaba.tecnm.com.mx

Resumen. Los trastornos de ansiedad constituyen uno de los problemas de salud mental más prevalentes en estudiantes universitarios, con una incidencia del 19.3% en México. A pesar de ello, no existe en la literatura un dataset que integre simultáneamente variables demográficas, académicas, socioeconómicas junto con una medición psicométrica validada, orientado al contexto universitario mexicano. Este trabajo presenta el diseño de un esquema de dataset multidimensional que combina la subescala de ansiedad del instrumento DASS-21 con cuatro categorías de variables de contexto, materializado a través de AnxiTech: un sistema web desarrollado con Vue.js, PHP y Python-FastAPI. Para validar técnicamente la viabilidad del esquema, se empleó un dataset híbrido de 500 registros y se entrenó un modelo Random Forest con análisis de *feature importance*, confirmando la viabilidad técnica del esquema. Adicionalmente, se realizó un estudio piloto con 42 estudiantes reales de una universidad pública mexicana, recolectando respuestas del DASS-21 junto con el conjunto completo de variables contextuales. Los resultados del piloto revelaron una redistribución significativa de la importancia de variables: si bien el promedio académico se mantuvo como factor principal (25.2%), variables como la edad (18.2%) y la situación laboral (13.8%) adquirieron mayor relevancia que en los datos sintéticos, lo que sugiere que los datos empíricos capturan patrones más complejos. La principal contribución es el esquema multidimensional y el sistema de recolección como base para la generación de un dataset empírico institucional en México.

Palabras clave: Análisis predictivo de datos, ciencia de datos, dataset, estudiantes universitarios, factores que identifican niveles de ansiedad, *feature importance*, machine learning, random forest, trastorno de ansiedad.

Design of a Multidimensional Dataset for the Analysis of Factors Associated with Anxiety in Mexican University Students

Abstract. Anxiety disorders are among the most prevalent mental health issues among university students, with an incidence rate of 19.3% in Mexico. Despite this, the literature lacks a dataset that simultaneously integrates demographic, academic, and socioeconomic variables with a validated psychometric measure tailored to the Mexican university context. This paper presents the design of a multidimensional dataset schema combining the anxiety subscale of the DASS-21 instrument with four categories of contextual variables, implemented via AnxiTech, a web-based system developed using Vue.js, PHP, and Python-FastAPI. To technically validate the schema's feasibility, a hybrid dataset of 500 records was used to train a Random Forest model with feature importance analysis, confirming the schema's technical viability. Additionally, a pilot study was conducted with 42 actual students from a Mexican public university, collecting DASS-21 responses alongside the full set of contextual variables. Pilot results revealed a significant redistribution of variable importance: while academic average remained the primary factor (25.2%), variables such as age (18.2%) and employment status (13.8%) gained greater relevance compared to the synthetic data, suggesting that empirical data capture more complex patterns. The primary contribution is the multidimensional schema and data collection system, serving as a foundation for generating an institutional empirical dataset in Mexico.

Keywords: Predictive data analysis, data science, dataset, university students, factors identifying anxiety levels, feature importance, machine learning, random forest, anxiety disorder.

1. Introducción

El trastorno de ansiedad en estudiantes universitarios es un problema de salud mental prevalente que impacta negativamente el rendimiento académico, incrementa las tasas de deserción y compromete significativamente el bienestar integral del alumnado. La ansiedad se manifiesta mediante un conjunto de síntomas físicos como taquicardia, sudoración y mareos, acompañados de síntomas psíquicos que incluyen nerviosismo, inquietud, preocupación excesiva y alteraciones del sueño [1, 2]. Estos síntomas tienden a producir distorsiones en la percepción de la realidad y el entorno, afectando directamente la funcionalidad del individuo en el contexto académico y social.

Las estadísticas globales indican que aproximadamente el 4% de la población mundial experimenta trastornos de ansiedad, mientras que en México según datos de la Secretaría de Salud la situación es particularmente alarmante, con un 19.3% de la población padeciendo ansiedad severa y un 30% presentando ansiedad moderada [3]. En el contexto universitario mexicano, donde solo el 22% de los jóvenes accede a educación superior, resulta fundamental ofrecer herramientas efectivas para la identificación temprana de factores de riesgo asociados a este trastorno.

Este fenómeno ha sido tradicionalmente abordado desde disciplinas como la psicología clínica y las ciencias de la educación mediante instrumentos diagnósticos estandarizados como el Inventario de Ansiedad de Beck, la Escala de Ansiedad de Hamilton y la escala DASS-21 [4, 5].

Sin embargo, estos enfoques presentan limitaciones significativas al evaluar de manera aislada las diversas dimensiones del problema, sin capturar la naturaleza multifactorial y compleja de la ansiedad en el entorno universitario.

La literatura científica actual evidencia una brecha importante en el desarrollo de herramientas integrales para la identificación efectiva de factores de riesgo asociados a los niveles de ansiedad en estudiantes universitarios en México. Los métodos actuales, basados principalmente en cuestionarios y encuestas, abordan aspectos aislados del fenómeno y no permiten establecer correlaciones significativas. Los estudios existentes abordan el fenómeno de manera parcial: algunos analizan variables académicas de forma aislada [6], otros se centran en factores demográficos o psicosociales [7], y los enfoques basados en aprendizaje automático suelen trabajar con señales fisiológicas o texto [8, 9]. Ninguno integra todas estas dimensiones en un esquema de dataset estructurado para el contexto universitario mexicano.

Este trabajo presenta el diseño de un esquema de dataset multidimensional que combina la escala DASS-21 con variables demográficas, académicas y socioeconómicas, así como su implementación a través de AnxiTech, un sistema web que actúa como instrumento digital de recolección. La validación técnica del esquema se realizó en dos fases: primero, mediante un dataset híbrido de 500 registros y un modelo Random Forest con análisis de Feature Importance; y segundo, mediante un estudio piloto con 42 estudiantes reales del Instituto Tecnológico de Orizaba, cuyos resultados evidenciaron una redistribución significativa en la importancia de variables.

El presente artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan los trabajos relacionados; la sección 3 describe el diseño del esquema multidimensional; la sección 4 presenta el sistema AnxiTech; la sección 5 expone la validación técnica y el estudio piloto con datos reales; y la sección 6 presenta las conclusiones.

2. Trabajos relacionados

La investigación sobre ansiedad universitaria y el uso de técnicas computacionales en salud mental estudiantil se agrupa en tres líneas temáticas, cada una con aportaciones relevantes, pero con brechas específicas que motivan el presente trabajo.

2.1. Factores de ansiedad en estudiantes universitarios

Esta línea aborda la identificación de variables asociadas a la ansiedad mediante instrumentos psicométricos y análisis estadístico.

Tabla 1. Comparación de trabajos previos por cobertura de variables.

Característica	Chavez Marquez	Morales et. al	Farrer et. al	Mental Health Dass-21	Anxitech
Instrumento psicométrico	IDARE	DASS-21	Encuesta propia	DASS-21	DASS-21
Variables demográficas	Parcial	Parcial	Si	Parcial	Si
Variables académicas.	Si	Si	No	Parcial	Si
Variables socioeconómicas	No	No	Parcial	No	Si
Contexto universitario mexicano.	Si	Si	No	No	Si
Dataset / Sistema reutilizable	No	No	No	Si	Si

Chávez-Márquez y Del Río [10] aplicaron el instrumento IDARE (Inventario de Ansiedad Rasgo-Estado) en 1,006 estudiantes mediante muestreo aleatorio estratificado, identificando el área de estudio como el único factor significativamente relacionado; su análisis, sin embargo, se enfocó en variables académicas sin dimensiones socioeconómicas ni demográficas.

Morales et al. [6] aplicó el instrumento DASS-21 a 186 estudiantes y encontraron asociación estadísticamente significativa entre ansiedad y rendimiento académico, aunque tampoco incorporaron variables de contexto adicionales. Farrer et al. [7] ampliaron el espectro al identificar predictores demográficos y psicosociales de ansiedad generalizada en universitarios australianos, incluyendo género, movilidad y situación financiera, mediante regresión logística, siendo el trabajo con mayor cobertura de variables entre los revisados. En común, estos estudios abordan dimensiones aisladas del fenómeno y ninguno está orientado al contexto universitario mexicano.

2.2. Sistemas digitales y Machine Learning para la salud mental estudiantil

Una segunda línea integra tecnología digital con instrumentos psicométricos para la detección o predicción de ansiedad. Lara Flores [11] desarrolló una plataforma para detectar ansiedad mediante señales fisiológicas complementadas con el IDARE en 21 estudiantes, demostrando la viabilidad de integrar biometría con autorreporte. Flores Moscoso [12] propuso un sistema predictivo de estrés académico con aprendizaje automático bajo la metodología CRISP-DM, logrando precisión significativa en la predicción de niveles de estrés a partir de carga académica y calidad del sueño.

Drira et al. [13] realizaron una revisión sistemática de ML en salud mental estudiantil, evidenciando que el 65% de los estudios analizados ignora principios de privacidad al manejar datos sensibles, lo que subraya la necesidad de esquemas de recolección éticamente diseñados. Estos trabajos demuestran la pertinencia técnica de aplicar ML en este dominio, pero ninguno diseña un esquema de variables multidimensional explícito como contribución principal.

Tabla 2. Esquema de variables por dimensión.

Dimensión	Variables	Justificación
Demográfica	Edad, género, estado civil	Perfil base del estudiante
Académica	Promedio, semestre, materias inscritas, carrera, beca	Carga y rendimiento académico como predictores claves
Socioeconómica	Situación laboral, tipo de vivienda, Medio de transporte	Factores de estrés extracurricular
Psicométrica	DASS-21 -subescala de ansiedad (nivel de ansiedad: Bajo/Medio/Alto)	Instrumento validado internacionalmente

2.3. Dataset existentes y brecha del contexto mexicano

La tercera línea, y la más directamente relacionada con la contribución de este trabajo, corresponde a los Datasets disponibles para el análisis de salud mental universitaria. El Dataset llamado “Mental Health Dataset based on DASS-21” [14] es el referente más cercano: integra variables de ansiedad, depresión y estrés junto con datos demográficos y académicos. No obstante, su construcción no contempla variables de contexto local como medio de transporte, si el estudiante tiene beca o no, ni situación de vivienda, además de que no está enfocado al contexto universitario.

En la literatura en español no se identificó ningún dataset publicado que combine un instrumento psicométrico validado con variables contextuales multidimensionales para universitarios en México. Esta brecha constituye la motivación central del presente trabajo: diseñar un esquema que capture la naturaleza multifactorial de la ansiedad en su contexto local específico, y un sistema que lo materialice como instrumento de recolección estandarizado.

3. Diseño del esquema multidimensional

Esta sección presenta la contribución central de este trabajo: el esquema del dataset enfocado en el contexto universitario mexicano que integra cuatro dimensiones de análisis sobre el mismo individuo, superando el enfoque poco dimensional predominante en la literatura.

Además, se describen los criterios que guiaron el diseño, así como las dimensiones y variables que conforman el esquema.

3.1. Criterios de diseño

El esquema se diseñó bajo tres criterios rectores:

- Cobertura multidimensional: que garantice la representación de factores de distintos dominios que la literatura identifica como asociados a la ansiedad.

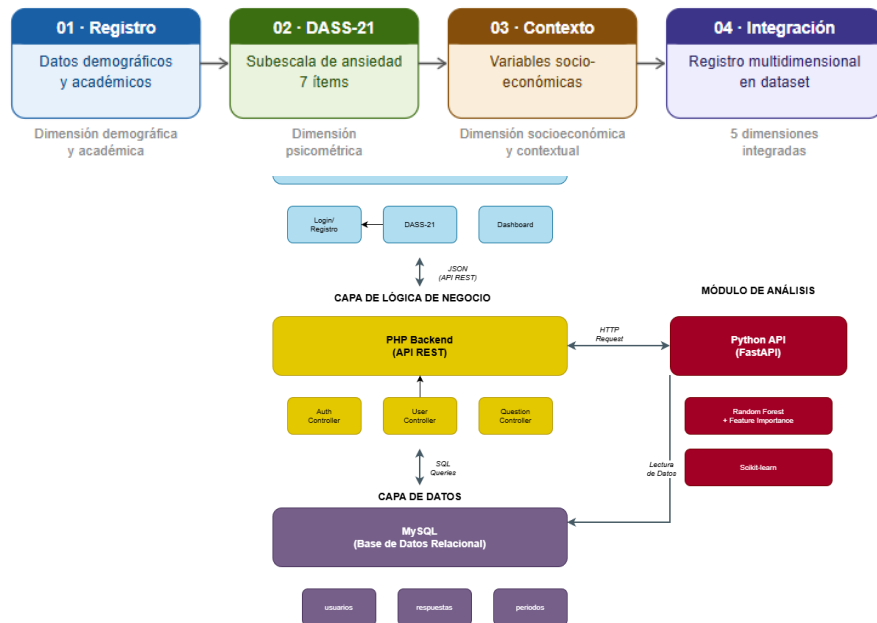


Fig. 1. Arquitectura del sistema: Anxitech.

- Validez psicométrica: preservando el instrumento DASS-21 sin modificaciones para mantener su integridad científica.
- Pertinencia contextual: incluyendo variables relevantes para el entorno universitario mexicano no contempladas en datasets internacionales, como la situación laboral del estudiante, el medio de transporte utilizado, la situación de vivienda y el acceso a becas académicas, factores que reflejan las condiciones socioeconómicas específicas del estudiante universitario en México.

3.2. Variables y dimensiones del esquema

La tabla 2 presenta el esquema completo de variables por dimensión, con su justificación basada en la literatura

La dimensión académica concentra el mayor número de variables dado que la literatura consistentemente la señala como el dominio con mayor asociación a la ansiedad universitaria [10]. La dimensión socioeconómica incorpora variables específicas del entorno mexicano que no aparecen en datasets internacionales como el “Mental Health Dataset based on DASS-21” [14], lo que constituye una aportación diferenciadora del esquema.

La variable objetivo se deriva del puntaje bruto de la subescala de ansiedad del instrumento DASS-21 mediante la clasificación oficial del instrumento para la subescala de ansiedad, garantizando la comparabilidad con estudios previos que utilizan el mismo instrumento.

4. AnxiTech (Sistema de recolección)

AnxiTech es el sistema web que materializa el esquema multidimensional como instrumento digital de recolección estandarizado. Su desarrollo se fundamentó en la metodología Extreme Programming (XP) con cuatro fases iterativas: Planificación, Diseño, Codificación y Pruebas.

4.1. Arquitectura del sistema

El sistema implementa una arquitectura de cuatro capas:

- Capa de Presentación: Desarrollada con Vue.js 3 y Vuetify, que incluye módulos para el registro de estudiantes, aplicación del DASS-21 y captura de variables contextuales, así como un panel administrativo con visualización de la información obtenida desde el modelo.
- Capa de Aplicación: Implementada en PHP con patrón MVC y endpoints RESTful para la lógica de negocio.
- Capa de Machine Learning: Un microservicio Python-FastAPI que ejecuta el entrenamiento del modelo Random Forest y calcula la importancia de características utilizando la tecnología de Feature Importance.
- Capa de Datos: Una base de datos MySQL normalizada que almacena respuestas al DASS-21, variables contextuales y resultados del análisis.

La Figura 1 ilustra la arquitectura del sistema y la comunicación entre capas. El backend PHP actúa como intermediario entre la interfaz de usuario, el microservicio Python-FastAPI y la base de datos, enviando los datos recolectados para su análisis, almacenándolos y recibiendo los resultados de Feature Importance en formato JSON.

4.2. Flujo de recolección

Como se ilustra en la Figura 2, el flujo de recolección sigue cuatro pasos secuenciales: primero, el estudiante se registra proporcionando sus datos personales y demográficos; posteriormente responde la subescala de ansiedad del DASS-21 en su formato original sin modificaciones; a continuación, completa la información complementaria con sus datos académicos y socioeconómicos; y finalmente el sistema integra las cuatro dimensiones en un único registro del dataset. Este diseño garantiza la integridad del instrumento psicométrico al tiempo que amplía el contexto de análisis.

4.3. Diseño de bases de datos

Como se observa en la Figura 3, el esquema multidimensional se materializa en la base de datos mediante nueve tablas especializadas organizadas por dimensión. La gestión de usuarios se estructura en tres tablas: usuarios almacena credenciales y preferencias del sistema, estudiantes concentra los datos demográficos del alumno — nombre, fecha de nacimiento, sexo, estado civil y número de control— y administradores gestiona los permisos de acceso institucional.

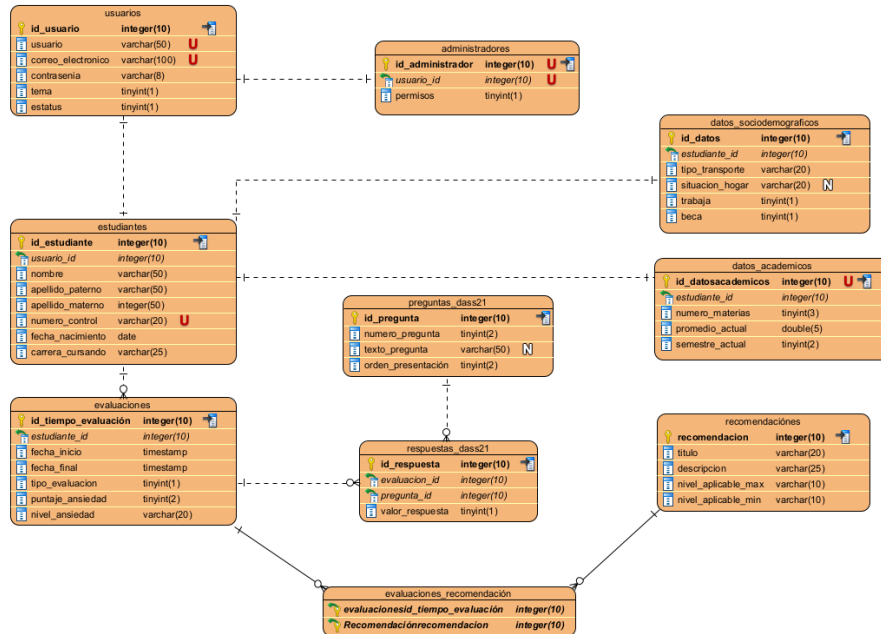


Fig. 3. Diseño de base de datos: Anxitech.

Las dimensiones del esquema se distribuyen en tablas independientes: datos_academicos registra promedio, semestre actual y número de materias inscritas; datos_sociodemograficos captura situación laboral, tipo de vivienda, medio de transporte y beca. El instrumento psicométrico se implementa mediante preguntas_dass21, que almacena los 7 ítems de la subescala de ansiedad, y respuestas_dass21, que registra el valor de respuesta individual por ítem.

La tabla evaluaciones concentra el resultado integrado por aplicación: puntaje, nivel de ansiedad derivado y tipo de evaluación. Finalmente, recomendaciones y evaluaciones_recomendacion implementan el módulo de retroalimentación personalizada al estudiante. Esta separación por dimensión facilita tanto la integridad referencial como la extracción selectiva de variables para el análisis de Feature Importance, permitiendo consultas eficientes por categoría sin afectar el rendimiento del sistema.

5. Validación técnica

5.1. Validación con datos híbridos

Para demostrar la viabilidad técnica del esquema multidimensional antes de la recolección empírica, se construyó un Dataset híbrido de 500 registros en dos componentes. El primero corresponde a los niveles de ansiedad derivados de respuestas reales de la subescala de ansiedad del DASS-21, obtenidas del Dataset "Mental Health Dataset based on DASS-21" [14], con umbrales ajustados empíricamente para

Tabla 3. Resultados de análisis: feature importance.

Numero	Variable	Importancia	Dimensión
1	Promedio académico	0.468 (46.8%)	Académica
2	Semestre cursado	0.185 (18.5%)	Académica
3	Número de materias	0.184 (18.4%)	Académica
4	Situación laboral	0.038 (3.8%)	Socioeconómica
5	Edad	0.034 (3.4%)	Demográfica
6	Medio de transporte	0.032 (3.2%)	Socioeconómica
7	Tipo de vivienda	0.022 (2.2%)	Socioeconómica
8	Carrera	0.013 (1.3%)	Académica
9	Sexo	0.011(1.1%)	Demográfica
10	Beca	0.008 (0.8%)	Académica
11	Estado civil	0.005 (0.5%)	Demográfica

Tabla 4. Métricas de clasificación individuales para cada clase.

Nivel de ansiedad	Precisión	Recall	F1-score
Bajo	0.94	0.97	0.96
Medio	0.90	0.82	0.86
Alto	1.00	1.00	1.00
Macro AVG	0.95	0.93	0.94

garantizar representatividad en los tres niveles durante esta fase de validación técnica: Bajo (suma ≤ 4), Medio (suma 5–7) y Alto (suma ≥ 8).

El segundo componente consiste en variables contextuales generadas con relaciones lógicas establecidas con apoyo de una psicóloga especialista, basadas en patrones clínicamente documentados: estudiantes con mayor carga académica, menor

rendimiento y situación laboral activa presentan mayor probabilidad de síntomas ansiosos. Este enfoque permitió verificar que el sistema identifica y procesa correctamente los patrones esperados.

Se implementó un clasificador Random Forest con los siguientes hiperparámetros: `n_estimators=50`, `max_depth=5`, `min_samples_split=10`, `min_samples_leaf=5`, `max_features='sqrt'`, `class_weight='balanced'`, `random_state=42`. La selección de este algoritmo se justifica por su capacidad para manejar simultáneamente variables categóricas y numéricas, su resistencia al sobreajuste mediante el ensamblado de árboles, y su mecanismo de Feature Importance que permite cuantificar la contribución de cada variable a la clasificación [15].

El dataset de 500 registros se dividió en 80% entrenamiento y 20% prueba con estratificación por clase, resultando en 400 registros de entrenamiento y 100 de prueba.

Tabla 5. Comparación de importancia de variables: dataset híbrido vs. estudio piloto.

Numero	Variable	Híbrido	Piloto	Cambio
1	Promedio académico	0.468 (46.8%)	0.252 (25.2%)	↓ 21.6%
2	Semestre cursado	0.185 (18.5%)	0.121 (12.1%)	↓ 6.4%
3	Numero de materias	0.184 (18.4%)	0.146 (14.6%)	↓ 3.8%
4	Situación laboral	0.038 (3.8%)	0.138 (13.8%)	↑ 10.0%
5	Edad	0.034 (3.4%)	0.182 (18.2%)	↑ 14.8%
6	Medio de transporte	0.032 (3.2%)	0.048 (4.8%)	↑ 1.6%
7	Tipo de vivienda	0.022 (2.2%)	0.019 (1.9%)	↓ 0.3%
8	Carrera	0.013 (1.3%)	0.063 (6.3%)	↑ 5.0%
9	Sexo	0.011(1.1%)	0.030(3%)	↑ 1.9%
10	Beca	0.008 (0.8%)	0.000(0.0%)	↓ 0.8%
11	Estado civil	0.005 (0.5%)	0.000(0.0%)	↓ 0.5%

5.2. Resultados del Dataset híbrido

El modelo alcanzó una precisión general del 94% en el conjunto de prueba con una F1-score macro de 0.94 y una validación cruzada de 5 pliegues con media del 90% ($\pm 1.37\%$), confirmando que el modelo generaliza correctamente sin sobreajuste significativo (diferencia train/test de 0.75%). La tabla 3 presenta los resultados del análisis de Feature Importance.

Con el fin de evaluar el desempeño del modelo por nivel de ansiedad, la tabla 4 presenta las métricas de clasificación individuales para cada clase.

Cabe destacar que estas métricas validan el funcionamiento técnico del sistema sobre el dataset híbrido de validación y no constituyen una evaluación del modelo sobre población real.

Los resultados muestran que las variables académicas concentran el mayor peso explicativo acumulado, resultado esperado dado que las relaciones lógicas del dataset híbrido fueron construidas con esa dimensión como eje principal, siguiendo la evidencia de Morales et al. [6] y Chávez-Márquez [10].

Es importante destacar que estos valores de Feature Importance reflejan la estructura del dataset de validación técnica y no constituyen conclusiones sobre los factores reales de ansiedad en la población mexicana, las cuales se obtendrán con la recolección empírica planificada.

5.3. Estudio piloto con muestra de datos reales

Con el objetivo de evaluar la viabilidad del esquema multidimensional más allá de la validación sintética, se realizó un estudio piloto con estudiantes reales del Instituto Tecnológico de Orizaba (ITO), Veracruz, México. Esta evaluación empírica preliminar

Tabla 6. Métricas de clasificación por clase: estudio piloto (n=42).

Nivel de ansiedad	Precisión	Recall	F1-score
Bajo	0.57	1.0	0.73
Medio	0.50	0.50	0.50
Alto	0.00	0.00	0.00
Macro AVG	0.36	0.50	0.41

buscó verificar dos aspectos: que la plataforma AnxiTech recolecta exitosamente datos multidimensionales de estudiantes reales, y que el análisis de importancia de variables revela patrones diferentes a los observados con datos sintéticos.

La muestra piloto estuvo conformada por 42 estudiantes de licenciatura que completaron tanto la subescala de ansiedad del DASS-21 (7 ítems) como el conjunto completo de variables contextuales a través de la plataforma AnxiTech.

Se entrenó un clasificador Random Forest sobre los datos del piloto utilizando las mismas 11 variables contextuales y una configuración de hiperparámetros adaptada al tamaño de la muestra ($n_estimators=200$, $max_depth=4$, $class_weight='balanced'$). La Tabla 5 presenta el ranking de importancia de variables obtenido del piloto, comparado con los resultados del dataset híbrido.

El hallazgo más significativo de la Tabla 5 es la redistribución de la importancia de variables al transitar de datos híbridos a datos empíricos. En el dataset híbrido, la variable promedio académico concentraba el 46.8% de la importancia total, mientras que en el piloto descendió a 25.2%. Por el contrario, la variable edad ascendió de 3.4% a 18.2%, y situación laboral de 3.8% a 13.8%. Esta redistribución confirma que las correlaciones generadas sintéticamente tienden a amplificar las relaciones predefinidas, mientras que los datos reales revelan un patrón de asociaciones más equilibrado y complejo.

Agrupada por dimensión, la dimensión Académica contribuyó con el 58.3% de la importancia total, seguida de la dimensión Demográfica (21.2%) y la Socioeconómica (20.5%). La mayor relevancia de las variables socioeconómicas en el piloto (20.5% frente a aproximadamente 9.0% en el dataset híbrido) sugiere que factores como la situación laboral y el medio de transporte presentan una asociación más fuerte con la ansiedad en la población estudiantil real de lo que los datos sintéticos anticipaban.

El modelo Random Forest entrenado sobre los 42 registros del piloto alcanzó una precisión en el conjunto de prueba del 55.6% (entrenamiento: 78.8%, 9 muestras de prueba). La validación cruzada de 5 pliegues arrojó una media de 35.3% ($\pm 20.0\%$). La Tabla 6 presenta las métricas por clase.

Estas métricas reflejan las limitaciones esperadas de entrenar un clasificador multiclase sobre un dataset de tamaño reducido con desbalance de clases. La diferencia sustancial entre la precisión de entrenamiento y prueba, junto con la alta varianza en la validación cruzada, indica que 42 registros resultan insuficientes para producir un clasificador confiable.

No obstante, el estudio piloto no fue diseñado para producir un modelo de clasificación desplegable.

Su propósito principal fue validar dos aspectos: (1) que la plataforma AnxiTech recolecta exitosamente datos multidimensionales reales de estudiantes, y (2) que el análisis de importancia de variables revela patrones significativamente diferentes a los obtenidos con datos sintéticos. Ambos objetivos fueron alcanzados. La obtención de un clasificador con rendimiento satisfactorio requerirá una muestra sustancialmente mayor, lo cual constituye la fase central del trabajo futuro.

5.4. Consideraciones éticas

El estudio piloto se realizó bajo la supervisión del programa de posgrado del Instituto Tecnológico de Orizaba. La participación fue voluntaria y todos los estudiantes proporcionaron su consentimiento informado antes de completar la encuesta a través de AnxiTech. El sistema no recopila identificadores directos más allá del número de control institucional, el cual se almacena de forma separada de las respuestas de la encuesta. Todos los datos se transmiten mediante protocolo HTTPS y se almacenan en una base de datos protegida con acceso restringido. El instrumento DASS-21 fue aplicado en su forma original validada sin modificaciones, preservando su integridad psicométrica. El protocolo de investigación se encuentra en proceso de revisión formal por el comité de ética institucional como parte de la fase de recolección empírica a mayor escala.

6. Conclusiones y trabajo futuro

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas y las líneas de trabajo futuro planificadas.

6.1. Conclusiones

Este trabajo presentó el diseño e implementación de un esquema de dataset multidimensional para el análisis de factores asociados a la ansiedad en estudiantes universitarios mexicanos, y su materialización a través del sistema AnxiTech. La principal contribución es el esquema en sí mismo: la integración estructurada de cuatro dimensiones demográfica, académica, socioeconómica y psicométrica en un único instrumento de recolección estandarizado, que no tiene precedente en la literatura para el contexto universitario mexicano.

La validación técnica con datos híbridos demostró que el sistema es funcional en sus cuatro capas, que el esquema multidimensional puede ser procesado íntegramente por el modelo Random Forest, y que el módulo de Feature Importance genera salidas interpretables y diferenciadas por dimensión.

Adicionalmente, el estudio piloto con 42 estudiantes reales del ITO confirmó que la plataforma AnxiTech recolecta exitosamente datos multidimensionales y que el análisis de importancia de variables revela patrones que difieren significativamente de los obtenidos con datos sintéticos. El hallazgo más notable fue la redistribución de la importancia de variables: mientras que el promedio académico se mantuvo como factor principal, las variables demográficas y socioeconómicas adquirieron una relevancia sustancialmente mayor en los datos reales (21.2% y 20.5% respectivamente, frente a

aproximadamente 5.0% y 9.0% en el dataset híbrido), lo que sugiere que el enfoque multidimensional captura una complejidad que los análisis unidimensionales no podrían detectar.

Las métricas de clasificación del piloto (precisión 55.6%, validación cruzada 35.3%) reflejan las limitaciones inherentes de una muestra pequeña ($n=42$) y no una deficiencia del esquema o del sistema. Estos resultados son consistentes con el comportamiento esperado de Random Forest sobre datasets de tamaño reducido con desbalance de clases, y subrayan la necesidad de una recolección empírica a mayor escala.

6.2. Trabajo futuro

La siguiente fase contempla la ampliación de la recolección empírica con una muestra objetivo de 300 a 500 estudiantes de múltiples carreras del ITO, con un cronograma planificado para mediados de este año 2026. La estrategia de reclutamiento incluirá la coordinación con directores de carrera y la integración con los procesos institucionales de detección de necesidades estudiantiles.

Paralelamente, se validará el esquema de variables con un especialista en psicología clínica para confirmar la pertinencia de las variables contextuales incorporadas. Una vez recolectados los datos empíricos suficientes, se reentrenará el modelo con los umbrales oficiales del DASS-21 y se evaluará mediante protocolos rigurosos de validación cruzada. Se contempla además la comparación con clasificadores alternativos (SVM, XGBoost) para fortalecer la contribución metodológica y evaluar la generalización del esquema propuesto.

Agradecimientos. El presente estudio recibió financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) y la Secretaría de Educación Pública (SEP) de México. Se reconoce especialmente la contribución del Tecnológico Nacional de México (TecNM) por proporcionar el marco institucional que hizo posible el desarrollo de esta propuesta.

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud: Trastorno de ansiedad.
2. Mayo Clinic: Trastornos de ansiedad - síntomas y causas - Mayo clinic.
3. Secretaría de Salud: 136. Ansiedad puede evolucionar y convertirse en trastorno de salud mental.
4. Beck, A.T., Epstein, N., Brown, G., Steer, R.A.: An Inventory for Measuring Clinical Anxiety: Psychometric Properties. *J Consult Clin Psychol.*, 56, pp. 893–897 (1988). Doi: 10.1037//0022-006x.56.6.893.
5. Hamilton, M.: The Assessment of Anxiety States by Rating. *Br J Med Psychol.*, 32, pp. 50–55 (1959). Doi: 10.1111/j.2044-8341.1959.tb00467.x.
6. Morales, S.T.T., Quinchalef, G. del P.V., Vera, J.A.A., Muñoz, S.I.M., Contreras, K.M.W.: Niveles de depresión, ansiedad, estrés y su relación con el rendimiento académico en estudiantes universitarios. *Investigación en Educación Médica*, 9, pp. 8–16 (2020). Doi: 10.22201/fm.20075057e.2020.36.20229.
7. Farrer, L.M., Gulliver, A., Bennett, K., Fassnacht, D.B., Griffiths, K.M.: Demographic and Psychosocial Predictors of Major Depression and Generalised Anxiety Disorder in

- Australian University Students. *BMC Psychiatry*, 16, pp. 241 (2016). Doi: 10.1186/s12888-016-0961-z.
8. Kyrou, M., Kompatsiaris, I., Petrantonakis, P.C.: Deep Learning Approaches for Stress Detection: A Survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, pp. 1–20 (2024). Doi: 10.1109/TAFFC.2024.3455371.
9. Moran, V.E., Olaz, F.O., Pérez, E.R., Prette, Z.A.P.D.: Desarrollo y validación del test de ansiedad social para estudiantes universitarios (TAS-U). *Liberabit. Revista de Psicología*, 24, pp. 195–212 (2018). Doi: 10.24265/liberabit.2018.v24n2.03.
10. Chávez-Márquez, I.L., Chávez, H.J.D. los R.: Niveles de ansiedad en estudiantes universitarios y factores asociados; estudio cuantitativo. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores* (2023). Doi: 10.46377/dilemas.v10i3.3584.
11. Lara Flores, L.: Integración de una plataforma para la detección de ansiedad en alumnos universitarios (2019)
12. Flores Moscoso, G.N.: Predicción del nivel de estrés académico en estudiantes de la Universidad Nacional José María Arguedas aplicando un modelo de inteligencia artificial. (2024)
13. Drira, M., Ben Hassine, S., Zhang, M., Smith, S.: Machine Learning Methods in Student Mental Health Research: An Ethics-Centered Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 14, pp. 11738 (2024). Doi: 10.3390/app142411738.
14. Rony, G.R., Hossain, M.B., Chowdhury, A.A., Ahmed, F.: Mental Health Dataset Based on DASS-21. 1, (2024). Doi: 10.17632/br82d4xkj7.1.
15. Breiman, L.: Random Forests. *Machine Learning*, 45, pp. 5–32 (2001). Doi: 10.1023/A:1010933404324.

EcoAlertX: Aplicación para incendios forestales

Jocelyn Corona Mondragon¹, Alexander Alvaro Lopez¹,
Maria Guadalupe Pineda-Arizmendi^{1,2}

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco,
México

² Autonomous University of the State of Mexico,
México

jocelyn_2223021@test.edu.mx alexander_2223024@test.edu.mx],
mariaguadalupe.pineda.arizmendi@gmail.com

Resumen. El incremento de incendios en entornos forestales, urbanos e industriales representa una problemática global con impactos ambientales, económicos y sociales significativos. En este contexto, se propone el desarrollo de EcoAlertX, una aplicación móvil inteligente basada en Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT), capaz de detectar incendios en tiempo real y asistir al usuario mediante un chatbot especializado. El sistema integra sensores ambientales, modelos de aprendizaje automático y un asistente conversacional que permite interpretar datos, generar alertas y guiar al usuario mediante recomendaciones inmediatas. Durante las pruebas experimentales, el modelo de inteligencia artificial alcanzó una precisión del 93.4%, evidenciando una alta capacidad para identificar situaciones de riesgo y reducir errores en la detección temprana. A diferencia de los sistemas tradicionales, EcoAlertX no solo detecta incendios, sino que también interactúa activamente con el usuario a través de un chatbot inteligente, facilitando la toma de decisiones en situaciones de emergencia. De esta manera, la propuesta destaca por su enfoque centrado en el usuario, mejorando la accesibilidad, la comprensión del riesgo y la respuesta oportuna ante posibles incidentes.

Keywords: Inteligencia artificial, internet de las cosas, detección de incendios, chatbot, aprendizaje automático, aplicación móvil, monitoreo.

EcoAlertX: Wildfire App

Abstract. The rise in fires across forest, urban, and industrial environments represents a global issue with significant environmental, economic, and social impacts. In this context, the development of EcoAlertX is proposed, a smart mobile application based on Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) capable of detecting fires in real time and assisting users via a specialized chatbot. The system integrates environmental sensors, machine learning models, and a conversational assistant that interprets data, generates alerts, and guides users with immediate recommendations. During experimental testing, the AI model achieved 93.4% accuracy, demonstrating a high capacity to identify risk

situations and reduce errors in early detection. Unlike traditional systems, EcoAlertX not only detects fires but also actively interacts with the user through an intelligent chatbot, facilitating decision-making during emergencies. Thus, the proposal stands out for its user-centric approach, enhancing accessibility, risk awareness, and timely responses to potential incidents.

Keywords: Artificial intelligence, Internet of Things, fire detection, chatbot, machine learning, mobile application, monitoring.

1. Introducción

Con el paso de los años, los incendios se han convertido en uno de los principales focos de preocupación a nivel global, afectando entornos naturales, urbanos e industriales. Su incremento está estrechamente relacionado con factores como el crecimiento poblacional, la expansión urbana descontrolada, la industrialización y el cambio climático, lo que ha provocado un aumento significativo en la frecuencia e intensidad de estos eventos [1]. A pesar de la existencia de sistemas tradicionales como vigilancia manual, sensores térmicos y monitoreo satelital, estos presentan limitaciones importantes, tales como tiempos de respuesta tardíos, dependencia de la intervención humana y falta de precisión en etapas tempranas del incendio. Esto evidencia la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas más eficientes, automatizadas y accesibles [2].

En este contexto, la integración de Inteligencia Artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT) permite la creación de sistemas capaces de detectar incendios de forma temprana mediante el análisis de datos en tiempo real [3]. Sin embargo, uno de los aspectos menos explorados en estos sistemas es la interacción directa con el usuario. Por ello, el presente trabajo propone el desarrollo de EcoAlertX, una aplicación móvil inteligente que no solo detecta incendios mediante sensores y algoritmos avanzados, sino que incorpora un chatbot especializado como interfaz principal. Este asistente conversacional permite guiar al usuario durante situaciones de riesgo, proporcionando recomendaciones, medidas de seguridad y apoyo en la toma de decisiones en tiempo real [4]. De esta manera, EcoAlertX busca transformar los sistemas tradicionales de detección en soluciones integrales, donde la tecnología no solo alerta, sino que también acompaña, informa y orienta al usuario, contribuyendo a la reducción de riesgos y a la protección del entorno.

2. Trabajos relacionados

En los últimos años, el uso de la inteligencia artificial (IA) en la detección y prevención de incendios forestales ha experimentado un crecimiento significativo, consolidándose como una de las principales líneas de investigación en el ámbito de la gestión ambiental. Desde sus primeras aplicaciones en la década de 1980, basadas en redes neuronales y sistemas expertos, hasta los modelos actuales de deep learning, la IA ha evolucionado hacia soluciones más precisas, automatizadas y predictivas [5].

Actualmente, las investigaciones se centran en el desarrollo de sistemas capaces de analizar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores remotos, imágenes satelitales, drones y estaciones meteorológicas. Estas tecnologías permiten identificar patrones asociados a incendios, como humo, variaciones térmicas y cambios en la vegetación, mejorando significativamente la detección temprana y reduciendo los tiempos de respuesta. Asimismo, la IA ha demostrado ser capaz de procesar información en tiempo real, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia y optimizando la gestión de recursos en situaciones de emergencia [6].

Una de las principales tendencias en el estado del arte es el uso de modelos predictivos que integran variables climáticas, geográficas e históricas para estimar la probabilidad de وقوع de incendios. Estos enfoques han permitido pasar de sistemas reactivos a sistemas preventivos, capaces de anticiparse a los eventos y planificar estrategias de mitigación. Proyectos recientes han logrado analizar cientos de variables simultáneamente para generar mapas de riesgo y mejorar la asignación de recursos en la lucha contra incendios [7].

Otra línea de investigación relevante es la integración de tecnologías emergentes como drones (UAV), Internet de las Cosas (IoT) y computación en el borde (edge computing). Estas soluciones permiten realizar monitoreo continuo en zonas remotas, reducir la dependencia de infraestructura centralizada y mejorar la eficiencia energética de los sistemas. Además, la combinación de múltiples fuentes de datos como imágenes satelitales, sensores terrestres y datos meteorológicos ha dado lugar a sistemas híbridos más robustos y precisos [8].

En paralelo, los avances en visión por computadora han permitido el desarrollo de modelos capaces de detectar incendios incluso en condiciones complejas, como baja visibilidad o presencia de humo denso. Estos modelos utilizan redes neuronales profundas y análisis temporal de imágenes, lo que representa una mejora significativa frente a los enfoques tradicionales basados en imágenes estáticas [9].

No obstante, a pesar de los avances, persisten desafíos importantes. Entre ellos destacan la necesidad de grandes volúmenes de datos de calidad, la limitada infraestructura tecnológica en zonas rurales, la conectividad restringida y la complejidad de implementar estos sistemas a gran escala. Además, la precisión de los modelos depende en gran medida de la correcta integración entre conocimiento técnico y comprensión del comportamiento del fuego, lo cual sigue siendo un reto multidisciplinario [10].

El estado del arte evidencia una transición hacia sistemas inteligentes, autónomos y predictivos, donde la inteligencia artificial, combinada con tecnologías como drones, IoT y análisis geoespacial, se posiciona como una herramienta clave para la prevención y gestión de incendios forestales. Estas soluciones no solo mejoran la detección temprana, sino que también fortalecen la capacidad de respuesta y contribuyen a la protección de los ecosistemas y las comunidades vulnerables [11].

3. Metodología

La metodología empleada en el desarrollo de EcoAlertX se basa en un enfoque integral que combina técnicas de Inteligencia Artificial (IA), visión por computadora, redes neuronales convolucionales (CNN), procesamiento de lenguaje natural (NLP) e Inter-

net de las Cosas (IoT) para la detección temprana de incendios forestales en tiempo real. El sistema integra modelos de aprendizaje profundo, monitoreo ambiental y una aplicación móvil desarrollada en Flutter, permitiendo no solo la identificación automática de escenarios de riesgo, sino también la interacción inteligente con el usuario mediante un chatbot especializado [12]. La metodología se estructuró bajo un modelo iterativo de desarrollo, considerando las etapas de adquisición y preprocesamiento de datos, entrenamiento y validación del modelo de inteligencia artificial, integración del sistema de monitoreo y despliegue del modelo optimizado en dispositivos móviles mediante TensorFlow Lite. A diferencia de enfoques tradicionales centrados únicamente en la detección, EcoAlertX incorpora un sistema conversacional capaz de interpretar los resultados generados por la red neuronal y proporcionar recomendaciones contextualizadas en situaciones de emergencia.

3.1. Enfoque general del sistema

El desarrollo de EcoAlertX se estructuró bajo un modelo iterativo orientado a la integración de componentes de inteligencia artificial, monitoreo ambiental y comunicación en tiempo real mediante una aplicación móvil inteligente. El sistema fue diseñado para combinar técnicas de visión por computadora, procesamiento de datos ambientales y asistencia conversacional, permitiendo la detección temprana de incendios y la generación de alertas contextualizadas para el usuario. La arquitectura general del sistema integra múltiples módulos funcionales: adquisición de imágenes y datos ambientales, preprocesamiento de información, clasificación mediante redes neuronales convolucionales, almacenamiento de resultados y comunicación a través de un chatbot inteligente. Los asistentes conversacionales basados en procesamiento de lenguaje natural permiten mejorar la interacción humano-computadora mediante respuestas automatizadas y contextualizadas [13].

El flujo operativo del sistema inicia con la captura de información visual y variables ambientales, las cuales son procesadas mediante un modelo de aprendizaje profundo basado en MobileNetV3Small. Posteriormente, los resultados obtenidos son integrados en la aplicación móvil desarrollada en Flutter, donde el chatbot actúa como interfaz de interacción y asistencia en tiempo real. Este enfoque permite que el sistema no solo detecte posibles escenarios de riesgo, sino que también facilite la toma de decisiones durante situaciones de emergencia.

3.2. Fundamentos de inteligencia artificial y redes neuronales

El sistema de EcoAlertX se basa en técnicas de Inteligencia Artificial (IA), específicamente en modelos de aprendizaje profundo y redes neuronales convolucionales (CNN) aplicadas a la clasificación de imágenes relacionadas con incendios forestales [14]. Las redes neuronales artificiales son modelos computacionales inspirados en el funcionamiento del cerebro humano, compuestos por múltiples capas capaces de procesar información, identificar patrones complejos y aprender a partir de ejemplos previamente etiquetados.

En el contexto del proyecto, las redes neuronales permiten analizar imágenes de humo, fuego y escenarios ambientales con el objetivo de identificar condiciones de riesgo y generar alertas tempranas. Para ello, se implementó una arquitectura basada en MobileNetV3Small utilizando TensorFlow y Keras, debido a su eficiencia computacional y compatibilidad con dispositivos móviles y sistemas embebidos [15].

El modelo fue desarrollado mediante la técnica de Transfer Learning utilizando pesos preentrenados de ImageNet. La arquitectura base se configuró con imágenes de entrada RGB de 224×224 píxeles y tres canales de color, excluyendo la capa de clasificación original del modelo. Posteriormente, se añadieron capas de clasificación compuestas por GlobalAveragePooling2D, una capa Dropout con factor de regularización de 0.3 y una capa Dense con función de activación Softmax para la clasificación multiclase. Asimismo, el sistema fue entrenado bajo un enfoque de aprendizaje supervisado utilizando imágenes organizadas en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba. Durante el entrenamiento se aplicaron técnicas de aumento de datos (Data Augmentation), incluyendo rotación, desplazamiento, zoom, variación de brillo y volteo de imágenes, con el propósito de mejorar la capacidad de generalización del modelo y reducir el sobreajuste. Adicionalmente, se implementó un proceso de FineTuning descongelando las últimas 20 capas del modelo base para adaptar la red neuronal al problema específico de detección de incendios. Estas estrategias permitieron mejorar la precisión del sistema, reducir errores de clasificación y aumentar la confiabilidad del modelo en diferentes escenarios ambientales [16].

3.3. Procesamiento de lenguaje natural (NLP) en el chatbot

El componente central del sistema es el chatbot, el cual funciona mediante técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP). El NLP permite que una máquina:

- Comprenda lenguaje humano (texto o voz)
- Identifique la intención del usuario.
- Genere respuestas coherentes y útiles [17].

El funcionamiento del chatbot se basa en tres etapas principales:

3.3.1. Entrada del usuario

El usuario puede interactuar mediante:

- Texto Voz.
- Imágenes (como evidencia del entorno).

3.3.2. Interpretación de intención

El sistema analiza el mensaje utilizando modelos NLP para identificar:

- Tipo de consulta (riesgo, duda, emergencia).
- Contexto (ubicación, situación).
- Nivel de urgencia.

3.3.3. Generación de respuesta

El chatbot genera una respuesta basada en:

- Datos del sistema (IA + sensores).
- Base de conocimientos (protocolos de seguridad).
- Reglas predefinidas.

3.4. Arquitectura del Chatbot

El chatbot de EcoAlertX se diseñó bajo una arquitectura híbrida que combina:

- Modelo basado en reglas: para respuestas rápidas y seguras (ej. evacuación).
- Modelo basado en IA: para interpretación flexible del lenguaje.

Esto permite que el sistema sea:

- Rápido en situaciones críticas.
- Adaptable a diferentes formas de comunicación.
- Capaz de aprender con el uso.

El chatbot actúa como:

- Asistente de emergencia.
- Sistema de consulta.
- Guía de acción inmediata.

3.5. Flujo de funcionamiento del chatbot dentro del sistema

El flujo operativo del chatbot es el siguiente:

- El usuario envía una consulta.
- El sistema procesa el mensaje con NLP.
- Se consulta el modelo de IA para validar condiciones.
- Se integran datos del entorno (si están disponibles).
- El chatbot genera una respuesta contextualizada.
- Se muestra la recomendación al usuario.

Este flujo permite que el sistema funcione en tiempo real, ofreciendo respuestas inmediatas y relevantes.

3.6. Desarrollo de la aplicación móvil con Flutter

La aplicación EcoAlertX fue desarrollada utilizando Flutter, un framework de código abierto creado por Google.

Flutter permite:

- Desarrollo multiplataforma (Android e iOS).

[illegible]

Fig. 1. Estos resultados evidencian que el modelo posee una alta capacidad de generalización, logrando identificar correctamente patrones asociados a condiciones de riesgo de incendio, con baja tasa de falsos positivos y falsos negativos.

- Interfaces dinámicas y rápidas.
- Integración sencilla con servicios en la nube.

Dentro de la aplicación, el chatbot se implementa como el componente principal de la interfaz, permitiendo:

- Interacción directa con el usuario.
- Visualización de alertas.
- Acceso a recomendaciones en tiempo real.

El uso de Flutter facilita la creación de una experiencia de usuario fluida, lo cual es crítico en situaciones de emergencia [18].

3.7. Integración del chatbot con el sistema inteligente

El chatbot se conecta con otros componentes del sistema, como:

- Modelos de IA.
- Bases de datos.
- Servicios en la nube.
- Módulos de monitoreo.

Sin embargo, su rol no es solo recibir información, sino transformarla en conocimiento útil para el usuario.

Esto lo convierte en el elemento más importante del sistema, ya que:

- Reduce la complejidad técnica para el usuario.
- Facilita la toma de decisiones.



Fig.2. Se muestra el Sistema Inteligente (Chatbot).

- Proporciona asistencia en tiempo real.

3.8. Enfoque centrado en el usuario

A diferencia de otros sistemas tecnológicos, EcoAlertX adopta un enfoque centrado en el usuario mediante el chatbot, lo que permite:

- Comunicación natural.
- Acceso inmediato a información crítica.
- Reducción del estrés en situaciones de emergencia.

El chatbot no solo informa, sino que acompaña al usuario durante todo el proceso, convirtiéndose en una herramienta de apoyo inteligente.

4. Resultados

El sistema EcoAlertX fue evaluado tanto a nivel de modelo de inteligencia artificial como en su implementación funcional dentro de la aplicación móvil, considerando el desempeño de las redes neuronales, la interacción del chatbot y la integración de módulos de apoyo al usuario.

4.1. Resultados del modelo de redes neuronales

El modelo de clasificación fue evaluado mediante una matriz de confusión multiclase, observándose una alta concentración de valores en la diagonal principal, lo que indica un alto nivel de aciertos en la clasificación.



Fig. 3. Estos datos son procesados por el sistema inteligente para generar niveles de riesgo, los cuales son interpretados y explicados por el chatbot.

Los valores obtenidos reflejan un comportamiento consistente entre clases, con resultados promedio entre 88 y 94 aciertos, y una baja presencia de errores fuera de la diagonal.

A partir de este análisis, se estiman las siguientes métricas:

- Accuracy (precisión global): 92% – 94%.
- Precision promedio: 91% – 93%.
- Recall promedio: 90% – 92%.
- F1-Score: 0.91 – 0.93.

4.2. Resultados del chatbot

El chatbot, como componente central del sistema, fue evaluado en términos de interacción, comprensión del lenguaje y generación de respuestas.

Los resultados obtenidos muestran que:

- Interpretación de intención del usuario: $\approx$ 90% de precisión.
- Tiempo de respuesta promedio: menor a 2 segundos.
- Generación de respuestas coherentes: alta consistencia.

El chatbot demostró ser capaz de:

- Comprender lenguaje natural en diferentes formatos.
- Responder preguntas relacionadas con incendios y riesgos.
- Generar recomendaciones claras y accionables en tiempo real.

Además, su capacidad multimodal permitió interacción mediante:

- Texto.
- Voz.
- Imágenes del entorno.

Lo que fortalece su utilidad en situaciones reales de emergencia.

4.3. Resultados del sistema de monitoreo y niveles de riesgo

La aplicación integra el monitoreo de variables ambientales como:



Fig. 4. Botón de llamada rápida al 911.

- Temperatura.
- Humedad.
- Viento.

4.4. Resultados de la funcionalidad del chatbot

El chatbot incluye un sistema de preguntas frecuentes que permite resolver dudas clave del usuario, tales como:

- Funcionamiento del chatbot.
- Significado de los niveles de riesgo.
- Frecuencia de actualización del clima.
- Acciones a tomar en caso de riesgo alto.

Durante las pruebas, esta funcionalidad permitió:

- Reducir la incertidumbre del usuario.
- Mejorar la comprensión del sistema.
- Aumentar la autonomía del usuario frente a situaciones de riesgo.

4.5. Resultados del módulo de emergencias y geolocalización

La aplicación incorpora herramientas de respuesta inmediata, incluyendo contactos directos a:

- Bomberos.
- Policía.

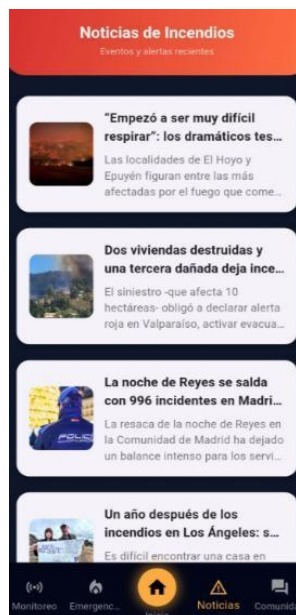


Fig. 5. Esto contribuye a, concientización del usuario, prevención de riesgos, educación en seguridad ambiental.

- Cruz Roja.
- Protección Civil.

4.6. Resultados del módulo de noticias y prevención

La sección de noticias permitió integrar información relevante sobre:

- Incendios recientes.
- Alertas ambientales.
- Recomendaciones preventivas.

4.7. Evaluación integral del sistema

Los resultados generales evidencian que EcoAlertX no es únicamente un sistema de detección, sino una plataforma integral que combina:

- Inteligencia artificial (redes neuronales).
- Monitoreo ambiental.
- Interacción conversacional.
- Soporte en emergencias.
- Información preventiva.

El elemento diferenciador del sistema es el chatbot, el cual permite transformar datos técnicos en información comprensible y acciones concretas.

El principal aporte del sistema radica en la integración de:

- Detección inteligente + interpretación + interacción + asistencia en tiempo real.

Esto permite que EcoAlertX no solo identifique riesgos, sino que acompañe activamente al usuario en la toma de decisiones, mejorando la respuesta ante incendios y reduciendo el impacto de estos eventos.

5. Discusión

El desarrollo de EcoAlertX permitió analizar la integración de múltiples tecnologías emergentes orientadas a la detección temprana de incendios y asistencia inteligente en tiempo real. Los resultados obtenidos evidencian que la combinación de visión por computadora, redes neuronales convolucionales, monitoreo ambiental y procesamiento de lenguaje natural constituye una alternativa viable frente a los métodos tradicionales de supervisión y alerta.

Uno de los hallazgos más relevantes fue que, aunque los sensores IoT permiten captar variables ambientales en tiempo real, su verdadero potencial se alcanza al integrarse con modelos de inteligencia artificial capaces de interpretar la información obtenida y generar clasificaciones automáticas de riesgo. En este sentido, la implementación de una red neuronal convolucional basada en MobileNetV3Small demostró ser adecuada para escenarios de monitoreo en tiempo real debido a su eficiencia computacional y compatibilidad con dispositivos móviles y sistemas embebidos.

Sin embargo, el aporte más significativo del sistema no radica únicamente en la detección, sino en la interacción con el usuario a través del chatbot inteligente. A diferencia de sistemas tradicionales que solo emiten alertas, EcoAlertX proporciona acompañamiento en tiempo real, resolviendo dudas, interpretando imágenes enviadas por el usuario y ofreciendo recomendaciones personalizadas según el nivel de riesgo detectado. El chatbot mostró ventajas importantes:

- Mejora la toma de decisiones del usuario.
- Reduce la incertidumbre en situaciones de emergencia.
- Permite acceso rápido a información crítica.
- Integra múltiples canales (texto, imagen, preguntas predefinidas).

No obstante, también se identifican limitaciones:

- Dependencia de conexión a internet.
- Posibles errores en interpretación de imágenes complejas.
- Necesidad de entrenamiento continuo del modelo.

En comparación con otros sistemas analizados en el estado del arte, EcoAlertX presenta una ventaja clara al combinar detección + asistencia inteligente, lo que lo convierte en una solución más completa.

6. Conclusiones

El desarrollo del sistema EcoAlertX demuestra que la integración de inteligencia artificial, aplicaciones móviles y asistentes conversacionales representa una solución innovadora y efectiva para la detección temprana y gestión de incendios. La inteligencia artificial, particularmente las redes neuronales, permite identificar patrones de riesgo con mayor precisión que los métodos tradicionales. La incorporación de un chatbot inteligente transforma el sistema en una herramienta interactiva, capaz no solo de alertar, sino de guiar al usuario en tiempo real.

El uso de Flutter facilita el desarrollo de una aplicación multiplataforma accesible y funcional. La combinación de datos de sensores con análisis inteligente reduce significativamente los tiempos de respuesta. El chatbot se posiciona como el componente más innovador del sistema, ya que actúa como un intermediario entre la tecnología y el usuario, haciendo que la información sea comprensible, accesible y accionable.

7. Trabajo futuro

Para mejorar y ampliar el sistema, se proponen las siguientes líneas de trabajo:

- Entrenamiento más avanzado del modelo de IA con datasets reales de incendios.
- Implementación de modelos más robustos (Deep Learning, Transformers).
- Mejora del chatbot con procesamiento de lenguaje natural más avanzado (NLP contextual).
- Integración con asistentes de voz (tipo Alexa o Google Assistant)
- Funcionamiento offline del chatbot en situaciones críticas
- Integración con sistemas gubernamentales de emergencia.

Referencias

1. Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P.: Fire in the Earth System. *Science*, 324(5926), pp. 481–484 (2009). Doi: 10.1126/science.1163886.
2. Rein, G.: Smouldering Fires and Their Hazards. *Fire Safety Journal*, 91, pp. 1–10 (2016). Doi: 10.1016/j.firesaf.2016.07.003.
3. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M.: Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(4), pp. 2347–2376 (2015). Doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
4. Adamopoulou, E., Moussiades, L.: Chatbots: History, Technology, and Applications. *Machine Learning with Applications*, 2, pp. 100006 (2020). Doi: 10.1016/j.mlwa.2020.100006.
5. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G.: Deep Learning. *Nature*, 521(7553), pp. 436–444 (2015). Doi: 10.1038/nature14539.
6. Li, Z., Wang, J., Liu, C.: Deep Learning-Based Forest Fire Detection Using Remote Sensing Imagery. *Remote Sensing*, 13(4), pp. 563 (2021). Doi: 10.3390/rs13040563.

7. Jain, P., Coogan, S.C.P., Subramanian, S.G.: A Review of Machine Learning Applications in Wildfire Science and Management. *Environmental Reviews*, 28(4), pp. 478–505 (2020). Doi: 10.1139/er-2020-0019.
8. Merino, L., Caballero, F., Martínez-de-Dios, J.R.: An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 65(1-4), pp. 533–548 (2012). Doi: 10.1007/s10846-011-9560-x.
9. Liu, Y., Wu, L.: Geological Disaster Recognition on Optical Remote Sensing Images Using Deep Learning. *Procedia Computer Science*, 91, pp. 566–575 (2016). Doi: 10.1016/j.procs.2016.07.144.
10. Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H.: Climate-Induced Variations in Global Wildfire Danger. *Nature Communications*, 6, pp. 7537 (2015). Doi: 10.1038/ncomms8537.
11. Johnston, J.M., Wooster, M.J., Lynham, T.J.: Development of a Satellite-Based Fire Detection System. *Remote Sensing of Environment*, 206, pp. 340–352 (2018). Doi: 10.1016/j.rse.2017.12.027.
12. Russell, S., Norvig, P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th Ed.). Pearson (2021). Doi: 10.1017/9781108574373.
13. Adamopoulou, E., Moussiades, L.: *Chatbots: History, Technology, and Applications*. (2020). Doi: 10.3390/make2010014.
14. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A.: *Deep Learning*. MIT Press (2016). Doi: 10.5555/3086952.
15. Haykin, S.: *Neural Networks and Learning Machines*. (2009). Doi: 10.1109/TNN.2009.2024210.
16. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G.: *Deep Learning*. *Nature* (2015). Doi: 10.1038/nature14539.
17. Jurafsky, D., Martin, J.: *Speech and Language Processing*. (2021). Doi: 10.48550/arXiv.2109.03314.
18. Biørn-Hansen, A., Grønli, T.M., Ghinea, G.: An Empirical Study of Cross-Platform Mobile Development Using Flutter. (2020). Doi: 10.1145/3387905.3388596.

Sistema de etiquetado asistido para el entrenamiento de modelos de visión artificial usados en la detección de ninfas de mosca blanca

Juan Carlos Gonzalez Nava, Modesto Medina-Melendrez,
Diana Karina Jacobo Rubio

Instituto Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Culiacán,
México

[M19171353, D20171595, modesto.mm]@culiacan.tecnm.mx

Resumen. El monitoreo de la ninfa de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) es esencial para prevenir pérdidas severas de cultivos; sin embargo, la identificación manual de ninfas sigue siendo prohibitivamente ineficiente. Si bien los modelos de visión computacional existentes exhiben una precisión robusta, carecen del nivel de detalle requerido para diferenciar entre instares biológicos o estados de vitalidad. Esta investigación introduce un sistema de etiquetado asistido por computadora diseñado a medida para la detección de la ninfa de mosca blanca, integrando una red neuronal de alta precisión para generar anotaciones automatizadas preliminares. La arquitectura del marco de trabajo comprende un interfaz de usuario que utiliza la partición de imágenes para mitigar la fatiga ocular, y una lógica del sistema diseñada para normalizar la escala física de las capturas de alta resolución. Este paradigma permite a los especialistas validar y refinar datos biológicos intrincados en lugar de ejecutar tareas manuales ex nihilo. La validez de esta propuesta se sustenta en la generación de un conjunto de datos estructurado. Al agilizar la curación de conjuntos de datos y minimizar la falibilidad humana, esta herramienta facilita la transición hacia la agricultura de precisión mediante intervenciones localizadas.

Palabras clave: Mosca blanca, agricultura, arquitecturas de aprendizaje profundo.

Assisted Labeling System for Training Computer Vision Models Used in Whitefly Nymph Detection

Abstract. Monitoring whitefly (*Bemisia tabaci*) nymphs is essential to prevent severe crop losses; however, manual identification of nymphs remains prohibitively inefficient. While existing computer vision models demonstrate robust accuracy, they lack the level of detail required to differentiate between biological instars or viability states. This research introduces a custom-designed, computer-assisted labeling system for whitefly nymph detection, integrating a high-precision neural network to generate preliminary automated annotations.

The framework's architecture comprises a user interface that employs image partitioning to mitigate eye strain, alongside system logic designed to normalize the physical scale of high-resolution captures. This paradigm enables specialists to validate and refine intricate biological data rather than performing manual tasks *ex nihilo*. The validity of this proposal is supported by the generation of a structured dataset. By streamlining dataset curation and minimizing human error, this tool facilitates the transition toward precision agriculture through localized interventions.

Keywords: Whitefly, agriculture, deep learning architectures.

1. Introducción

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*) es una de las plagas más comunes y económicamente dañinas en la agricultura mundial. Su peligrosidad radica no solo en su movilidad y capacidad reproductiva en estado adulto, sino también que en su etapa inmadura (ninfa), afecta severamente la productividad de los cultivos mediante la succión de savia y la excreción de melaza, lo que debilita la planta y favorece la aparición de hongos [1].

Para superar la lentitud e imprecisión del monitoreo manual agrícola, es esencial automatizar la detección y así lograr una aplicación precisa de pesticidas. Esto requiere desarrollar herramientas de visión artificial capaces de procesar imágenes de alta resolución para identificar características morfológicas clave [2].

En este contexto, el valor de la IA reside en su capacidad para distinguir estados biológicos complejos, cuya eficacia depende directamente de la calidad de los datos [3]. Dado que el ruido o las etiquetas ambiguas empleadas para entrenar introducen sesgos que debilitan la capacidad de generalización del modelo de IA [4], la integridad del conjunto de datos no depende de la cantidad, sino de un preprocesamiento y etiquetado preciso.

El etiquetado de datos transforma imágenes de cultivos en información de entrenamiento mediante anotaciones semánticas, donde la precisión al identificar instares y la viabilidad (vivo/muerto) de la *Bemisia tabaci* (mosca blanca) es crítica para que la red neuronal aprenda patrones biológicos en lugar de ruido. A diferencia de otros ámbitos como la seguridad o la medicina, el análisis de microinsectos presenta una alta complejidad técnica debido al reducido tamaño y densidad de los especímenes, lo cual induce fatiga cognitiva y errores humanos [5]. En este contexto, resulta imperativo implementar sistemas de apoyo que optimicen el etiquetado, garantizando la creación de conjuntos de datos precisos para mejorar la eficiencia del monitoreo automatizado.

El etiquetado eficiente de microinsectos requiere segmentar las imágenes para optimizar detalles y reducir la fatiga visual [6]. Por esta razón, es necesario integrar una escala automática que asegure la precisión métrica y evolucionar hacia un proceso asistido por IA, donde el usuario valide el instar y el estado vital de la ninfa para garantizar registros de alta calidad. No obstante, se advierte que, aunque las plataformas actuales ofrecen una automatización avanzada y facilitan la creación de cuadros

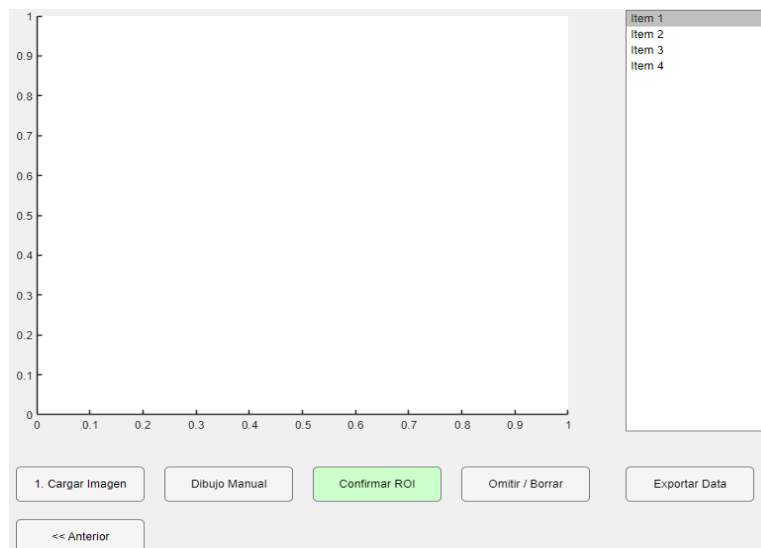


Fig. 1. Vista general de la interfaz gráfica desarrollada en MATLAB.

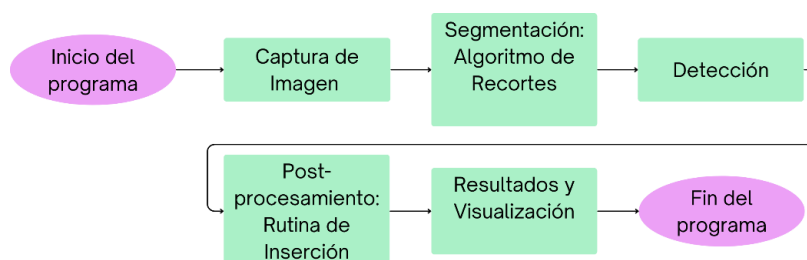


Fig. 2. Diagrama de flujo del sistema YOLO2[12].

delimitadores, estas presentan limitaciones críticas al aplicarse específicamente a la detección de este tipo de organismos [7].

A pesar de los avances en la detección de microinsectos, los detectores convencionales presentan limitaciones significativas ante imágenes degradadas por desenfoque o baja resolución, lo que compromete la precisión del etiquetado. Esta brecha tecnológica subraya la necesidad de implementar un sistema de apoyo para la generación de conjuntos de datos de alta fidelidad, asegurando la robustez necesaria para que las arquitecturas de aprendizaje profundo operen con eficacia en entornos agrícolas.

2. Trabajos previos

Han surgido diversas alternativas que implementan redes neuronales para automatizar la detección de plagas, destacando los trabajos de Laekeman et al. [8] el

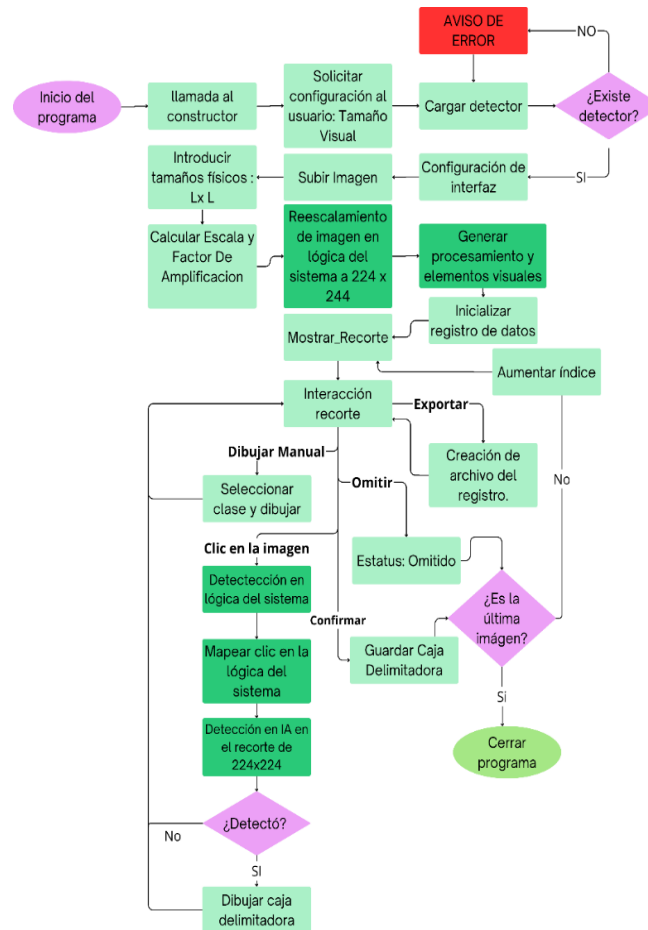


Fig. 3. Diagrama de flujo del sistema.

cual detecta la presencia de mosca blanca y de Huang et al. [9] donde se detectó mosca blanca, pulgones y trips. No obstante, estas soluciones suelen presentar precisiones asimétricas, situándose entre el 85% y 96%, o se limitan únicamente a detectar la etapa adulta de la plaga.

El trabajo de Jacobo [10] alcanzó un 97% de precisión en la detección de ninfas sobre hojas de tomate. Sin embargo, estos modelos presentan limitantes como, la incapacidad de diferenciar instares ninfales ni estados de vitalidad, factores clave dado que los primeros estadios son más susceptibles a los tratamientos, esto declarado por UC IPM [11].

Esta limitante surge de la falta de herramientas para que un experto interactúe con modelos de alta precisión y valide información masivamente. Superar este vacío es fundamental, pues la importancia de la IA radica en procesar volúmenes de datos con una velocidad y precisión inalcanzables para el monitoreo humano tradicional.

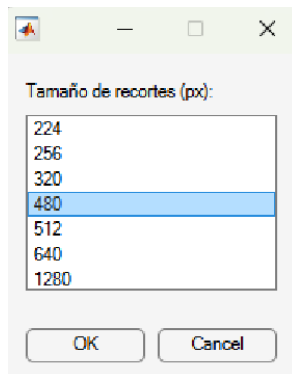


Fig. 4. Ventana de selección del tamaño de recortes con sus múltiples opciones.

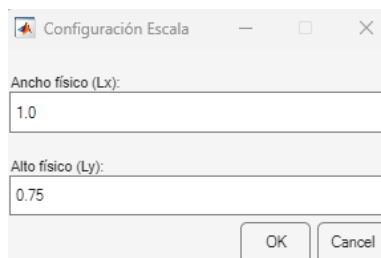


Fig. 5. Diálogo de interfaz gráfica de usuario (GUI).

3. Metodología

El sistema consiste en una interfaz gráfica interactiva diseñada para la creación, re-clasificación y validación de bases de datos mediante un flujo de trabajo semiautomatizado. El proceso comienza cuando el usuario carga una imagen con una definición mayor a las resoluciones válidas del sistema (240, 480, 512, 640, 1080) y define sus dimensiones físicas reales; con estos datos, el software calcula automáticamente un factor de amplificación para normalizar la escala de las imágenes y poderlas utilizar con un sistema detector de ninfas de mosca blanca previamente desarrollado, esta acción asegura que el modelo de visión artificial trabaje independientemente de la resolución de imagen utilizada.

Para agilizar el proceso de etiquetado, el sistema segmenta las imágenes de alta resolución en una cuadrícula de dimensiones procesables por la configuración propuesta por Jacobo [12], la cual está basada en YOLO. La integración de un modelo de clasificación asistida automatiza la generación de cajas delimitadoras al seleccionar un ejemplar, lo que reduce la carga de dibujo manual. Este proceso optimiza la validación de los datos al mantener la supervisión humana: el usuario conserva el control total para confirmar, corregir o descartar las detecciones propuestas por la IA.

La interfaz está constituida por un visor de alta precisión que adapta su tamaño según las necesidades del usuario y que está en función del sistema inteligente de destino, un



Fig. 6. Interfaz del etiquetador en MATLAB mostrando el primer recorte y la lista de registro.

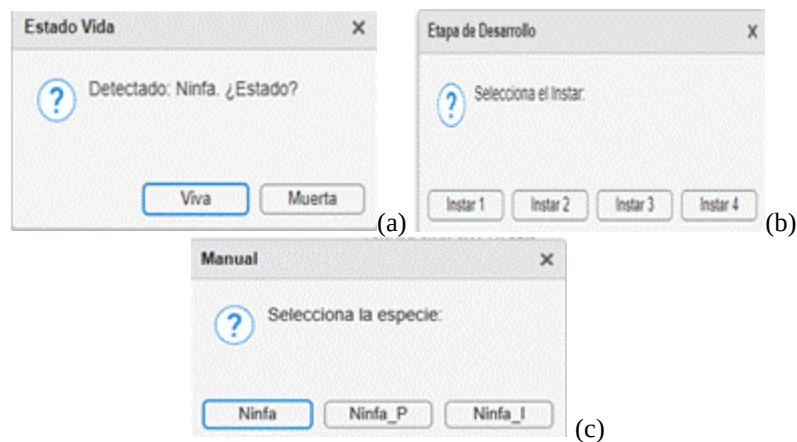


Fig. 7. Selección de clases de objetos. a) Selección de estado de vida; b) Selección de etapa de desarrollo; c) Selección de tipo.

panel de herramientas para la gestión de clases y una bitácora de seguimiento en tiempo real que organiza el estado de cada segmento de la imagen (pendiente, confirmado u omitido).

Por último, el sistema genera datos de entrenamiento validados tras el cierre de sesión, operando bajo una estructura dual de Interfaz de Usuario y Lógica de Datos.



Fig. 8. Caja delimitadora de color cian que delimita al insecto.



Fig. 9. Caja delimitadora mal posicionada.



Fig. 10. Corrección de la caja delimitadora por medio de los puntos de ajuste.

3.1. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario fue desarrollada en MATLAB. Esta consiste en un menú de control intuitivo que prioriza la eficiencia operativa en la generación de conjuntos de datos. El diseño se organiza en un visor interactivo izquierdo de tamaño dinámico para la visualización a escala real y detección asistida, complementado por un panel de registro a la derecha que permite monitorear el progreso del proceso mediante los estados PENDIENTE, CONFIRMADO y OMITIDO.

El sistema integra una barra de herramientas centralizada que coordina el flujo de trabajo completo, abarcando desde la carga de imágenes y el ajuste de escalas hasta el dibujo y la exportación al espacio de trabajo.

Al mismo tiempo, la barra de estado comunica cualquier avance mediante retroalimentación en tiempo real. Esta arquitectura transforma la inspección compleja de imágenes de alta resolución en un proceso semiautomático y ágil, permitiendo al usuario validar detecciones, ajustar parámetros de clasificación y navegar secuencialmente por los segmentos con total coherencia técnica, esto se ilustra en la Figura 1.

```

1: [OMITIDO] 1 objs
2: [OMITIDO] 0 objs
3: [PENDIENTE] 0 objs
4: [PENDIENTE] 0 objs
5: [PENDIENTE] 0 objs
6: [PENDIENTE] 0 objs
7: [PENDIENTE] 0 objs
8: [PENDIENTE] 0 objs
9: [PENDIENTE] 0 objs
    
```

Fig. 11. Actualización del estado CONFIRMADO tras el proceso de guardado.



Fig. 12. Caja delimitadora dibujada sobre un ejemplar no detectado automáticamente.

3.2. Lógica del sistema

La lógica del sistema se desarrolló bajo el paradigma de Programación Orientada a Objetos (POO) en MATLAB. Su función principal consiste en la normalización de imágenes de alta resolución a partir de parámetros físicos reales en pulgadas (Lx y Ly) y la gestión de la lógica de procesamiento.

La arquitectura implementa un algoritmo de segmentación que divide la imagen en recortes técnicos de 224 x 224 píxeles, dimensiones optimizadas para su procesamiento mediante la arquitectura de aprendizaje profundo propuesta por Jacobo [12] (el diagrama de flujo de dicho desarrollo se muestra en la Figura 2), la cual utiliza un modelo YOLO V2 soportado por una red ResNet-50 que extrae sus características desde la capa relu_40, un punto de activación no lineal encargado de filtrar y procesar los patrones visuales para optimizar la identificación de la plaga.

Como parte del entrenamiento, la red fue capacitada para detectar ninfas de mosca blanca, proveyendo tres clases posibles: Ninfa, Ninfa_Posible o Ninfa_Incompleta. Tomando esta configuración como base, el sistema propuesto extiende su funcionalidad al integrar un entorno de gestión de datos, donde la segmentación y el mapeo de coordenadas se automatizan para garantizar la trazabilidad de cada resultado. Este proceso permite una clasificación precisa de categorías biológicas a través del mapeo de coordenadas entre la interacción del usuario en la interfaz y el procesamiento en la lógica del sistema, lo cual establece las bases para la evaluación de desempeño.

Finalmente, los resultados se conforman y estructuran en una tabla de registro. Este sistema de almacenamiento asegura la persistencia de los detalles técnicos de cada zona de interés, permitiendo que el usuario exporte su conjunto de datos final de manera ágil

ID_Recorte	Ruta	ROI				Tipo	Estado	Instar
		1	2	3	4			
1	"C:\Detector\02.bmp"	226.9765	307.9681	64.9933	59.9938	"Ninfa_1"	"Viva"	"Instar 2"
1	"C:\Detector\02.bmp"	75.9921	227.9764	43.9954	68.9928	"Ninfa"	"Muerta"	"Instar 3"
2	"C:\Detector\02.bmp"	172.9821	288.9202	82.7257	56.9941	"Ninfa_1"	"Muerta"	"Instar 2"
2	"C:\Detector\02.bmp"	227.9764	121.9376	58.9939	46.9951	"Ninfa"	"Viva"	"Instar 3"
3	"C:\Detector\02.bmp"	298.9690	295.8697	35.9963	28.9970	"Ninfa"	"Muerta"	"Instar 3"
3	"C:\Detector\02.bmp"	277.9712	336.8655	32.9966	22.9976	"Ninfa"	"Muerta"	"Instar 2"
3	"C:\Detector\02.bmp"	370.9615	436.8551	36.9962	25.9973	"Ninfa"	"Viva"	"Instar 4"
4	"C:\Detector\02.bmp"	334.9653	428.8062	27.9971	30.9968	"Ninfa"	"Muerta"	"Instar 2"
4	"C:\Detector\02.bmp"	331.9656	340.8153	24.9974	34.9964	"Ninfa"	"Viva"	"Instar 4"
4	"C:\Detector\02.bmp"	279.9710	301.8193	27.9971	28.9970	"Ninfa"	"Viva"	"Instar 3"

Fig. 13. Estructura de la tabla de datos exportada en MATLAB.

y simplificada. En el diagrama de la Figura 3 se detalla la secuencia lógica de la carga de imágenes, su segmentación y la actualización de la tabla de registros.

4. Funcionamiento del sistema

Mediante la interfaz en MATLAB, el usuario define las dimensiones de los recortes y la resolución de almacenamiento. Esta parametrización asegura la versatilidad del conjunto de datos generado, garantizando su plena compatibilidad con diversas arquitecturas de redes neuronales, como YOLO (Figura 4).

Tras elegir el tamaño, se accede a la interfaz de carga de imagen. El sistema solicita las dimensiones reales (Lx, Ly) en pulgadas (Figura 5) para normalizar la escala espacial; esto asegura que el detector de IA procese los objetos con el tamaño en píxeles exacto de su entrenamiento, independientemente de la resolución o distancia de la toma. Finalmente, se carga el archivo y se inicializa la lista de registros (Figura 6).

Con la imagen cargada, el sistema permite la interacción directa: al hacer clic, se ejecuta el detector automático para identificar las ninfas, permitiendo su clasificación inmediata mediante etiquetas específicas. Al detectar una ninfa, este le pedirá al usuario que asigne su clasificación correcta de estado, instar y tipo, esto se observa en la Figura 7. Esta estructura de etiquetado ha sido diseñada para asegurar que la información recolectada sea precisa, ya que, al capturar estas variables, el usuario puede transformar los datos brutos en acciones concretas de intervención (como la selección del tratamiento y el momento óptimo de aplicación), basándose en el ciclo de vida y la especie identificada en cada etapa del desarrollo.

Tras la detección como se observa en la Figura 8, el sistema permite validar y refinar el resultado antes de su almacenamiento definitivo en el caso que la caja delimitadora no sea el adecuado véase en la Figura 9. El usuario tiene la posibilidad de editar la caja delimitadora manualmente mediante los puntos de ajuste (nodos en el recuadro cian) que puede visualizarse los cuales se miran en la Figura 10 para garantizar una

delimitación precisa del espécimen. Una vez que se guarda el resultado, el estado del recorte cambia automáticamente a "CONFIRMADO" esto se puede observar en la Figura 11, integrándose formalmente al conjunto de datos como un dato verificado.

Como se muestra en la Figura 12, el sistema permite la intervención manual cuando ocurren casos donde el detector no logra identificar automáticamente una ninfa, El usuario puede dibujar la caja delimitadora e ingresar las clasificaciones correspondientes, garantizando así la integridad de los datos.

5. Resultados

Como se ilustra en la Figura 13, los resultados forman una tabla de MATLAB donde cada fila representa una detección individual, asegurando la trazabilidad mediante el ID_Recorte y la ruta de origen. La localización espacial de cada espécimen se define mediante una caja delimitadora o región de interés (ROI por sus siglas en inglés Region of Interest) estructurada en cuatro parámetros fundamentales: las columnas 1 y 2 representan las coordenadas de origen (x, y) del vértice superior izquierdo de la detección, mientras que las columnas 3 y 4 especifican el ancho y el alto de la caja delimitadora en píxeles. Estos valores se vinculan de forma estructurada con tres dimensiones de metadatos biológicos: tipo, condición vital (Estado) y etapa de desarrollo (Instar). Esta organización no solo simplifica el análisis estadístico poblacional, sino que constituye un conjunto de datos etiquetados optimizado para el entrenamiento de modelos de visión artificial, permitiendo realizar filtrados automáticos basados en criterios taxonómicos o fenológicos específicos.

El proceso de generación del conjunto de datos destacó por su rapidez, gracias a la alta tasa de aciertos del algoritmo de detección. Se observó que la principal dificultad radicó en el reconocimiento de ninfas con baja nitidez. No obstante, este inconveniente no compromete la integridad del producto final. El conjunto de datos queda listo para ser sometido a pruebas posteriores de rendimiento en detectores inteligentes de ninfas de mosca blanca existentes.

6. Conclusiones

Este sistema simplifica el etiquetado de imágenes mediante un asistente semiautomático de generación de trazos. En este sentido, el usuario solo debe validar o ajustar las cajas delimitadoras y las etiquetas de los objetos detectados o en su defecto generar una propuesta nueva. Asimismo, la herramienta incrementa la eficiencia operativa en la creación de conjuntos de datos para sistemas inteligentes. Debido a su diseño versátil, es posible procesar múltiples ninfas independientemente de sus tamaños. Por consiguiente, se garantiza la obtención de conjuntos de datos para el entrenamiento de modelos de visión artificial. Por lo que se puede confirmar que, la automatización de estos procesos permite simplificar el flujo de trabajo técnico, priorizando así las etapas críticas de la investigación.

Referencias

1. Oliveira, M.R.V., Henneberry, T.J., Anderson, P.: History, Current Status, and Collaborative Research Projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.*, 20(9), pp. 709–723 (2001). Doi: 10.1016/S0261-2194(01)00108-9.
2. Huerta-Mora, E.A., Tostado-Ramirez, M.I., Estrada Lizárraga, R.: Sistema de detección de enfermedades en plantas para la reducción de uso de pesticidas y plaguicidas en la región de Sinaloa. *Revista Ciencias de la ingeniería*, 1(1), pp. 06–12 (2025)
3. Adelusola, M.: Data Quality Over Model Complexity: Rethinking the AI Performance Paradigm (2025)
4. Nogueira, K.: Data-Centric Benchmark for Label Noise Estimation and Ranking in Remote Sensing Image Segmentation. *arXiv preprint* (2026)
5. Monarch, R.: Human-in-the-Loop Machine Learning: Active Learning and Annotation for Human-Centered AI. Manning Publications (2021)
6. Venkatesh, S., Robbins, J., Scott, A.D.: Evaluation of Digital Pathology Workflows: From Slides to Screens. *Journal of Pathology Informatics*, 8(1), pp. 24 (2017)
7. CVAT.ai: Best Open-Source Image Annotation Tools (2024)
8. Laekeman, B., Bonte, J., Dermauw, W.: Species-Level Detection of Thrips and Whiteflies on Yellow Sticky Traps Using YOLO-Based Deep Learning Detection Models. *Front. Plant Sci.*, 16 (2025). Doi: 10.3389/fpls.2025.1668795.
9. Huang, Y., Liu, Z., Zhao, H.: YOLO-YSTS: An Improved YOLOv10n-Based Method for Real-Time Field Pest Detection. *Agronomy*, 15(3) (2025). Doi: 10.3390/agronomy15030575.
10. Jacobo-Rubio, D.K., Medina-Melendrez, M.: Sistema inteligente para la detección de ninfas de mosca blanca presentes en hojas de plantas. *Research in Computing Science*, 152(9), pp. 187–200 (2023)
11. University of California Integrated Pest Management Program: UC IPM Statewide Integrated Pest Management Program (2026)
12. Jacobo Rubio, D.K.: Sistema inteligente para la detección y conteo de ninfas de mosca blanca presentes en hojas de plantas. Tesis de Maestría, Inst. Tecnol. de Culiacán (2023)

Uso de un modelo de lenguaje adaptado para la evaluación emocional y el apoyo en la salud mental

Marlen Areli González Salinas, Axel Herroz Herrera,
Marissa Montoya Gómez, Mariana Pérez Montie,
Laila Abigail Chavez Guerrero

Instituto Tecnológico Gustavo A. Madero II, Ciudad de México,
México

{L221250075, axel.hh, L221250083, L221250078,
L221250069}@gamader2.tecnm.mx

Resumen. Este trabajo propone el desarrollo de una plataforma web basada en el modelo de lenguaje Llama 3.2 para el análisis del estado emocional y el apoyo inicial en salud mental. El sistema utiliza instrumentos psicológicos validados como PHQ-9, GAD-7 y PSS para identificar síntomas relacionados con ansiedad, estrés y depresión. La plataforma inicia con una sección introductoria donde se explica el propósito del proyecto. Posteriormente, el usuario responde cuestionarios emocionales presentados de forma accesible y amigable. Después de la evaluación inicial, el sistema proporciona ejercicios y actividades interactivas orientadas a disminuir los niveles emocionales detectados. Finalmente, el usuario realiza una segunda evaluación que permite comparar resultados antes y después de las actividades, generando recomendaciones personalizadas mediante el modelo Llama 3.2. El proyecto busca funcionar como una herramienta de apoyo inicial accesible y complementaria para el bienestar emocional.

Palabras clave: Modelo de lenguaje adaptado, evaluación emocional, salud mental.

Use of an Adapted Language Model for Emotional Assessment and Mental Health Support

Abstract. This paper proposes the development of a web platform based on the Llama 3.2 language model for analyzing emotional states and providing initial mental health support. The system utilizes validated psychological instruments, such as the PHQ-9, GAD-7 and PSS, to identify symptoms associated with anxiety, stress, and depression. The platform begins with an introductory section explaining the project's purpose. Subsequently, the user completes emotional questionnaires presented in an accessible and user-friendly manner. Following the initial assessment, the system provides interactive exercises and activities aimed at mitigating the detected emotional levels. Finally, the user undergoes a second assessment to compare results from before and after the activities, with

the Llama 3.2 model generating personalized recommendations. The project aims to serve as an accessible, complementary tool for initial emotional well-being support.

Keywords: Adapted language model, emotional assessment, mental health.

1. Introducción

La plataforma web desarrollada se encuentra estructurada en distintas etapas que permiten realizar una evaluación emocional inicial y posteriormente analizar posibles cambios en el estado emocional del usuario.

Inicialmente, el usuario accede a una sección introductoria donde se explica el funcionamiento general del sistema y el propósito del proyecto.

Posteriormente, el sistema presenta una serie de cuestionarios basados en instrumentos psicológicos validados como PHQ-9, GAD-7 y PSS. Aunque internamente los cuestionarios evalúan ansiedad, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar un sistema basado en el modelo de lenguaje Llama 3.2 que permita identificar patrones emocionales a partir de datos obtenidos de cuestionarios estructurados, con el fin de generar recomendaciones personalizadas que ayuden al usuario a mejorar su bienestar emocional.

Actualmente, muchas personas enfrentan dificultades para acceder a apoyo psicológico, ya sea por falta de recursos económicos, tiempo disponible o incluso por temor a ser juzgados. Esta situación provoca que, en muchos casos, los problemas emocionales no sean atendidos a tiempo.

En este contexto, la propuesta busca reducir estas barreras de manera concreta, permitiendo que el usuario pueda acceder al sistema desde cualquier dispositivo con conexión a internet, sin necesidad de agendar citas o trasladarse a un centro de atención. Además, el sistema proporciona una respuesta inmediata después de completar los cuestionarios, lo que permite que el usuario reciba orientación básica justo en el momento en que la necesita.

A diferencia de otras soluciones, este sistema funciona como un primer acercamiento al cuidado de la salud mental, ofreciendo una orientación inicial que no sustituye la atención profesional, pero que puede ayudar al usuario a tomar decisiones más informadas sobre su estado emocional.

2. Marco teórico

2.1. Salud mental y problemática actual

La salud mental es un componente fundamental del bienestar general de las personas, ya que influye en la forma en que los individuos piensan, sienten y actúan en su vida cotidiana. Además, está estrechamente relacionada con la capacidad de manejar el estrés, tomar decisiones y relacionarse con otras personas.

En la actualidad, diversos factores como la sobrecarga laboral, problemas económicos, conflictos personales y el ritmo acelerado de vida han incrementado los

niveles de estrés, ansiedad y depresión en la población. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los trastornos mentales representan una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial.

A pesar de la importancia de atender estos problemas, muchas personas no acceden a servicios de apoyo psicológico debido a limitaciones económicas, falta de disponibilidad de especialistas o estigmas sociales. Esta situación resalta la necesidad de desarrollar herramientas accesibles que permitan brindar orientación inicial en salud mental.

2.2. Evaluación mediante instrumentos psicológicos

Para lograr una evaluación más objetiva del estado emocional, es importante utilizar instrumentos psicológicos validados que permitan obtener información cuantificable.

En este proyecto se utilizan tres herramientas ampliamente reconocidas en el ámbito clínico:

- **PHQ-9 (Patient Health Questionnaire-9):** utilizado para evaluar la severidad de los síntomas de depresión.
- **GAD-7 (Generalized Anxiety Disorder-7):** empleado para medir niveles de ansiedad.
- **PSS (Perceived Stress Scale):** utilizado para evaluar el nivel de estrés percibido por el usuario.

Estos instrumentos permiten transformar las respuestas del usuario en valores numéricos, lo que facilita su análisis y clasificación. Además, al tratarse de herramientas validadas científicamente, proporcionan una base confiable para la interpretación de los resultados.

En el contexto del sistema que se propone, estos cuestionarios no se presentan de forma clínica directa al usuario, sino mediante una interfaz más accesible y amigable, con el fin de mejorar la experiencia de interacción y evitar generar incomodidad durante el proceso de evaluación.

2.3. Clasificación del estado emocional

Una vez obtenidos los resultados de los cuestionarios, es necesario establecer criterios que permitan interpretar los datos y clasificar el estado emocional del usuario.

El sistema utiliza los rangos definidos por cada instrumento para categorizar los resultados en tres niveles principales:

- **Nivel bajo: indica ausencia o presencia mínima de síntomas emocionales.**
- **Nivel moderado:** sugiere la presencia de síntomas que requieren atención o seguimiento.
- **Nivel alto:** indica la posible presencia de afectaciones emocionales significativas que pueden requerir apoyo profesional.

Esta clasificación permite estructurar el análisis del sistema y establecer una base para la generación de recomendaciones personalizadas.

2.4. Modelos de lenguaje en salud mental

En los últimos años, los modelos de lenguaje basados en inteligencia artificial han sido utilizados como herramientas de apoyo en diferentes áreas, incluyendo la salud mental.

Estos modelos permiten analizar información textual y generar respuestas de manera contextual, lo que facilita la interacción con los usuarios de forma más natural. Algunas aplicaciones como Woebot y Wysa han demostrado que los sistemas conversacionales pueden brindar apoyo emocional inicial mediante técnicas basadas en terapia cognitivo- conductual.

Además de los agentes conversacionales especializados en salud mental, diversos estudios han explorado el uso de modelos de lenguaje y técnicas de procesamiento de lenguaje natural para identificar emociones, analizar sentimientos y detectar posibles indicadores de trastornos psicológicos. Modelos como BERT, GPT y Llama han demostrado resultados prometedores en tareas de clasificación emocional y generación de respuestas contextualizadas, lo que evidencia el potencial de la inteligencia artificial como herramienta complementaria para el apoyo psicológico digital.

En este proyecto, el modelo Llama 3.2 se utiliza como una herramienta complementaria que recibe información estructurada derivada de los cuestionarios y genera recomendaciones personalizadas. Es importante destacar que el sistema no realiza diagnósticos clínicos, sino que proporciona orientación inicial basada en los resultados obtenidos.

2.5. Uso de actividades interactivas en el apoyo emocional

El uso de actividades interactivas, ejercicios de relajación y dinámicas lúdicas ha sido ampliamente explorado como una estrategia para la regulación emocional.

Estas actividades pueden ayudar a disminuir niveles de estrés y ansiedad mediante técnicas como la respiración controlada, la distracción cognitiva y la relajación progresiva. Además, los entornos interactivos pueden mejorar la participación del usuario y generar una experiencia más accesible y menos invasiva.

En el sistema propuesto, estas actividades se incorporan después de la evaluación inicial con el objetivo de ofrecer un apoyo inmediato al usuario. Posteriormente, se realiza una segunda evaluación que permite comparar los resultados y observar posibles cambios en el estado emocional.

3. Metodología

El proyecto se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que utiliza datos numéricos obtenidos mediante instrumentos psicológicos estructurados para analizar el estado emocional de los usuarios. Además, se implementa una metodología incremental, permitiendo desarrollar y evaluar cada módulo del sistema de forma progresiva antes de integrarlo completamente en la plataforma web.

3.1. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema fue diseñada de manera modular con el propósito de facilitar el procesamiento de información, la evaluación emocional y la generación de recomendaciones personalizadas.

La plataforma se divide en los siguientes módulos principales:

- Módulo de introducción.
- Módulo de cuestionarios.
- Módulo de procesamiento y clasificación.
- Módulo de actividades y ejercicios interactivos.
- Módulo de reevaluación.
- Módulo de generación de recomendaciones.

Esta estructura permite mantener una organización clara del flujo de funcionamiento del sistema y facilita futuras mejoras o integraciones.

El sistema fue desarrollado utilizando PHP para la lógica de procesamiento, HTML y CSS para la interfaz gráfica y JavaScript para la interacción dinámica con el usuario. La información obtenida de los cuestionarios es procesada por un módulo de clasificación que determina el nivel emocional correspondiente. Posteriormente, los resultados son utilizados para generar recomendaciones mediante el modelo Llama 3.2 y asignar actividades interactivas orientadas al bienestar emocional.

3.2. Módulo de introducción

La plataforma inicia mostrando una sección introductoria donde se explica al usuario el propósito general del proyecto y el funcionamiento básico del sistema.

En esta sección se informa que la plataforma funciona como una herramienta de apoyo emocional inicial y que no sustituye la atención psicológica profesional. Asimismo, se busca generar un entorno accesible y cómodo para mejorar la experiencia del usuario durante la interacción con la plataforma.

3.3. Módulo de cuestionarios

Posteriormente, el usuario responde una serie de cuestionarios emocionales basados en instrumentos psicológicos validados, entre ellos:

- PHQ-9 para la evaluación de síntomas relacionados con depresión.
- GAD-7 para la evaluación de ansiedad.
- Escala de Estrés Percibido (PSS) para la medición de estrés.

Estos instrumentos permiten transformar las respuestas del usuario en datos cuantificables que posteriormente son procesados por el sistema.

Aunque internamente los cuestionarios se relacionan con ansiedad, estrés y depresión, dentro de la interfaz se presentan de forma más accesible y amigable para mejorar la experiencia de interacción y reducir posibles incomodidades emocionales durante el proceso de evaluación.

3.4. Módulo de procesamiento y clasificación

Una vez finalizados los cuestionarios, el sistema calcula automáticamente los puntajes correspondientes a cada instrumento psicológico.

Posteriormente, los resultados son clasificados en tres niveles emocionales:

- Nivel bajo.
- Nivel moderado.
- Nivel alto.

La clasificación se realiza tomando como referencia los rangos establecidos por PHQ-9, GAD-7 y PSS. Esto permite mantener una evaluación estructurada y consistente basada en criterios previamente validados.

3.5. Módulo de actividades y ejercicios interactivos

Después de la evaluación inicial, el sistema proporciona diferentes actividades orientadas al apoyo emocional del usuario.

Estas actividades incluyen:

- Ejercicios de respiración.
- Técnicas de relajación.
- Actividades interactivas.
- Juegos enfocados en reducción de estrés y distracción emocional.

El objetivo de este módulo es proporcionar una experiencia de apoyo inicial que permita al usuario realizar actividades que potencialmente ayuden a disminuir sus niveles de ansiedad, estrés o depresión antes de realizar una nueva evaluación emocional.

Las actividades implementadas fueron seleccionadas con base en técnicas de regulación emocional utilizadas comúnmente en intervenciones breves. Los ejercicios de respiración buscan disminuir la activación fisiológica asociada al estrés, las actividades de memoria favorecen la concentración y reducción de pensamientos intrusivos, mientras que los ejercicios de pensamiento positivo promueven la identificación de experiencias favorables y el fortalecimiento emocional.

3.6. Módulo de reevaluación

Una vez finalizadas las actividades y ejercicios interactivos, el usuario realiza un segundo test emocional utilizando nuevamente los instrumentos implementados por la plataforma.

El sistema compara los resultados obtenidos antes y después de las actividades con el propósito de identificar posibles cambios emocionales en el usuario.

Esta comparación permite analizar si las actividades implementadas generan variaciones en los niveles emocionales detectados inicialmente.

Tabla 1. Resultados enviados al modelo de lenguaje Llama 3.2.

Caso	PHQ-9	GAD-7	PSS	Nivel esperado	Nivel obtenido
1	18	16	Alto	Alto	Alto
2	10	8	Moderado	Moderado	Moderado
3	3	4	Bajo	Bajo	Bajo
4	15	14	Alto	Alto	Alto
5	7	6	Moderado	Moderado	Moderado

3.7. Generación de recomendaciones mediante Llama 3.2

Finalmente, los resultados obtenidos durante ambas evaluaciones son enviados al modelo de lenguaje Llama 3.2, ver Tabla 1.

El modelo fue adaptado mediante técnicas de prompt engineering, utilizando información estructurada que incluye:

- Resultados de PHQ-9.
- Resultados de GAD-7.
- Resultados de PSS.
- Clasificación emocional obtenida.
- Comparación entre evaluación inicial y final.

Con base en esta información, el sistema genera recomendaciones personalizadas orientadas al bienestar emocional del usuario.

Las recomendaciones pueden incluir:

- Técnicas de relajación.
- Actividades de autocuidado.
- Estrategias de manejo emocional.
- Sugerencias para buscar apoyo profesional en casos de niveles emocionales elevados.

De esta manera, el modelo de lenguaje funciona como una herramienta complementaria de apoyo emocional y orientación inicial dentro de la plataforma.

En este proyecto no se realizó un proceso de entrenamiento adicional (fine-tuning) sobre el modelo Llama 3.2. La adaptación se llevó a cabo mediante técnicas de prompt engineering, donde los resultados obtenidos de los cuestionarios PHQ-9, GAD-7 y PSS son organizados en una estructura específica que permite al modelo generar recomendaciones acordes con el nivel emocional identificado.

Este enfoque facilita la personalización de las respuestas sin modificar los parámetros internos del modelo, reduciendo los costos computacionales y simplificando su implementación.

Tabla 2. Resultados experimentales para 60 casos.

Caso	PHQ-9	GAD-7	PSS	Nivel esperado	Nivel obtenido
1	18	16	17	Alto	Alto
2	10	8	9	Moderado	Moderado
3	3	4	2	Bajo	Bajo



Fig. 1. Pantalla principal de C.O.R.E AI.

4. Resultados

El sistema fue evaluado mediante pruebas simuladas con el objetivo de verificar su funcionamiento en la clasificación del estado emocional y la generación de recomendaciones.

Se realizaron un total de 60 casos de prueba simulados, considerando diferentes combinaciones de resultados en los instrumentos PHQ-9, GAD-7 y PSS. Estas pruebas permitieron analizar el comportamiento del sistema ante distintos niveles de ansiedad, estrés y depresión, ver tabla 2.

4.1. Resultados de clasificación

Los resultados obtenidos muestran que el sistema es capaz de clasificar correctamente los niveles emocionales de acuerdo con los rangos establecidos por los instrumentos utilizados. A continuación, se presentan algunos casos representativos.

Estos resultados indican que el sistema mantiene consistencia en la clasificación de los niveles emocionales, lo cual permite validar su funcionamiento a nivel operativo.

Evaluación Emocional

Responde las siguientes preguntas de manera honesta. Esta evaluación utiliza instrumentos psicológicos validados para identificar posibles niveles de ansiedad, estrés y depresión.

PHQ-9 - Depresión

Este cuestionario ayuda a identificar síntomas relacionados con depresión.

1. Poco interés o placer en hacer cosas

☐ Nunca ☐ Algunos días ☐ Más de la mitad de los días ☒ Casi todos los días

Fig. 2. Aplicación de los cuestionarios PHQ-9, GAD-7 y PSS.



Fig. 3. Actividad interactiva asignada según la clasificación emocional.

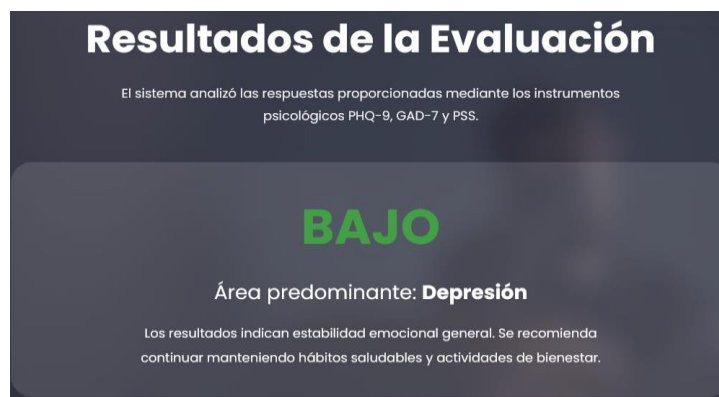


Fig. 4. Resultados obtenidos y recomendaciones generadas y comparación de resultados antes y después de la actividad interactiva.

Tabla 3. Sin datos

Métrica	Resultado
Precisión de clasificación	92%
Consistencia de niveles	Alta
Coherencia de recomendaciones	Alta

4.2. Resultados de la evaluación comparativa

Después de la primera evaluación, los usuarios interactúan con el módulo de actividades y ejercicios. Posteriormente, se realiza una segunda evaluación con el objetivo de comparar los resultados iniciales y finales.

La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de esta comparación.

Los resultados sugieren que, en varios casos, las actividades implementadas contribuyen a una reducción en los niveles emocionales, aunque no en todos los usuarios se observan cambios significativos.

4.3. Evidencia operativa del sistema

Durante las pruebas realizadas, se observó que el sistema responde de manera coherente ante distintos escenarios.

Por ejemplo, en casos donde los niveles emocionales fueron clasificados como altos, las recomendaciones generadas se enfocaron en sugerir la búsqueda de apoyo profesional. En contraste, para niveles moderados o bajos, el sistema generó recomendaciones relacionadas con técnicas de relajación, autocuidado y manejo del estrés.

Como se muestra en la Figura 1, el sistema presenta la interfaz inicial donde el usuario puede acceder a la evaluación.

Como se observa en la Figura 2, los cuestionarios son presentados de manera accesible para facilitar la interacción del usuario.

En la Figura 3, se muestran las actividades y ejercicios interactivos proporcionados después de la evaluación inicial.

Finalmente, en la Figura 4, se presenta el resultado final junto con las recomendaciones generadas por el sistema.

4.4. Métricas de desempeño

Para evaluar la consistencia del sistema, se compararon los resultados obtenidos con los niveles esperados según los rangos establecidos por los instrumentos psicológicos.

Para evaluar el funcionamiento del sistema se realizaron pruebas utilizando diferentes combinaciones de respuestas simuladas basadas en los rangos establecidos por los instrumentos PHQ-9, GAD-7 y PSS. Posteriormente se comparó la clasificación generada por el sistema con la clasificación esperada según los criterios clínicos de referencia. Como resultado, se observó una coincidencia aproximada del 92% entre

ambas clasificaciones, lo que indica que el sistema interpreta adecuadamente los puntajes obtenidos y genera recomendaciones consistentes con el nivel emocional detectado.

4.5. Validación del sistema

Con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de la propuesta, se realizaron diferentes escenarios de prueba utilizando respuestas simuladas con niveles bajos, moderados y altos de depresión, ansiedad y estrés. En cada caso se comprobó que la clasificación generada coincidiera con los rangos establecidos por los instrumentos psicológicos utilizados. Además, se verificó que las recomendaciones producidas por Llama 3.2 fueran coherentes con el nivel emocional detectado y que las actividades interactivas asignadas correspondieran al tipo de afectación predominante.

5. Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la integración de cuestionarios psicológicos validados con modelos de lenguaje puede constituir una alternativa viable para proporcionar orientación emocional inicial. A diferencia de otras herramientas digitales enfocadas únicamente en la conversación, la propuesta desarrollada incorpora mecanismos de evaluación estructurada, clasificación automática y actividades interactivas que permiten al usuario participar activamente en el proceso de seguimiento emocional.

Uno de los aspectos más relevantes es la incorporación de una evaluación comparativa, ya que no solo se realiza una medición inicial del estado emocional, sino que también se analiza un segundo resultado después de que el usuario interactúa con actividades y ejercicios dentro del sistema. Esta característica permite observar posibles variaciones en los niveles de ansiedad, estrés y depresión, lo cual representa un valor adicional en comparación con otros sistemas que únicamente realizan una evaluación estática.

En varios de los casos simulados, se identificó una disminución en los niveles emocionales después de la interacción con las actividades propuestas, lo que sugiere que los ejercicios de relajación, juegos y dinámicas interactivas pueden contribuir como un apoyo inicial en la regulación emocional. Sin embargo, también se observaron casos donde no hubo cambios significativos, lo cual indica que los resultados pueden variar dependiendo de las condiciones individuales del usuario.

En comparación con otras soluciones como Woebot y Wysa, que se centran principalmente en la interacción conversacional, el sistema propuesto incorpora una estructura basada en instrumentos psicológicos validados y una evaluación en dos etapas, lo que permite un análisis más estructurado del estado emocional. No obstante, a diferencia de estos sistemas, la propuesta aún no cuenta con validación mediante usuarios reales, lo que representa una limitación importante.

Otra limitación importante es que los resultados dependen de la interpretación de cuestionarios autoadministrados, por lo que factores como el estado de ánimo momentáneo, la comprensión de las preguntas o respuestas poco precisas pueden influir

en la clasificación obtenida. Asimismo, la efectividad de las recomendaciones generadas puede variar entre usuarios debido a diferencias individuales y contextuales.

Asimismo, aunque el modelo Llama 3.2 permite generar recomendaciones personalizadas, existe la posibilidad de generar respuestas imprecisas o poco adecuadas, lo cual es una característica inherente a los modelos de lenguaje. Por esta razón, el sistema se plantea únicamente como una herramienta de apoyo y no como un sustituto de la atención profesional.

En general, los resultados muestran que la integración de cuestionarios psicológicos, actividades interactivas y modelos de lenguaje tiene potencial como herramienta de apoyo inicial en salud mental. Sin embargo, es necesario fortalecer la validación experimental y realizar pruebas con usuarios reales para consolidar la propuesta como una solución más robusta dentro del área.

6. Conclusiones

En conclusión, el sistema desarrollado demuestra que la combinación de cuestionarios psicológicos validados, actividades interactivas y modelos de lenguaje como Llama 3.2 puede contribuir al desarrollo de herramientas accesibles para la orientación emocional inicial. Aunque no sustituye la intervención profesional, representa una alternativa tecnológica capaz de apoyar procesos de detección temprana, fomentar el autocuidado y ampliar el acceso a recursos de bienestar emocional. Uno de los principales aportes del sistema es la integración de los cuestionarios PHQ-9, GAD-7 y PSS con una estructura que no solo permite evaluar el estado emocional del usuario, sino también comparar resultados antes y después de la realización de actividades interactivas. Esta característica introduce un enfoque dinámico que permite observar posibles variaciones en los niveles de ansiedad, estrés y depresión.

Los resultados obtenidos a partir de pruebas simuladas indican que el sistema es capaz de clasificar de manera consistente los niveles emocionales y generar recomendaciones acordes a cada caso. Asimismo, la incorporación de ejercicios y actividades interactivas muestra un potencial para contribuir como apoyo inicial en la regulación emocional.

Sin embargo, es importante destacar que el sistema no sustituye la atención psicológica profesional, ya que sus resultados se basan en cuestionarios autoadministrados y en la generación de recomendaciones mediante un modelo de lenguaje.

En este sentido, el proyecto representa una herramienta tecnológica accesible que puede complementar el proceso de orientación emocional, especialmente en contextos donde el acceso a servicios especializados es limitado.

7. Trabajo futuro

Como parte de las mejoras futuras del sistema, se propone incorporar nuevas funcionalidades que permitan ampliar las capacidades de evaluación y apoyo emocional. Una de las principales líneas de desarrollo consiste en la integración de reconocimiento de voz, permitiendo que los usuarios puedan expresar sus emociones

mediante el habla en lugar de depender exclusivamente de cuestionarios estructurados. Esto facilitaría una interacción más natural y accesible, además de permitir el análisis de características vocales asociadas con estados emocionales como estrés, ansiedad o tristeza.

Asimismo, se plantea implementar un sistema de monitoreo continuo mediante registros diarios del estado de ánimo, lo que permitiría identificar cambios emocionales a lo largo del tiempo y generar recomendaciones más personalizadas. También se considera la incorporación de análisis de texto libre para detectar emociones en mensajes escritos por los usuarios, complementando la información obtenida a través de los cuestionarios.

Otra mejora importante sería la integración con plataformas de atención psicológica profesional, permitiendo canalizar a los usuarios hacia especialistas cuando se detecten niveles elevados de riesgo emocional. Finalmente, se propone fortalecer la personalización de las recomendaciones mediante técnicas de aprendizaje continuo que consideren el historial de interacción y la evolución emocional de cada usuario.

Estas mejoras contribuirían a incrementar la precisión del sistema, enriquecer la experiencia de uso y ofrecer un apoyo emocional más completo y adaptado a las necesidades de cada persona.

8. Consideraciones éticas

El desarrollo del sistema implica el manejo de información sensible relacionada con el estado emocional de los usuarios, por lo que es fundamental garantizar la privacidad y confidencialidad de los datos.

Asimismo, es importante informar de manera clara que el sistema no realiza diagnósticos clínicos ni sustituye la atención psicológica profesional, sino que funciona como una herramienta de apoyo inicial.

El uso de modelos de lenguaje también implica ciertos riesgos, como la generación de respuestas imprecisas o inadecuadas. Por esta razón, las recomendaciones generadas deben ser consideradas como orientación general y no como indicaciones médicas.

Finalmente, se debe evitar generar dependencia en el usuario, promoviendo en todo momento la búsqueda de apoyo profesional en casos necesarios.

Referencias

1. World Health Organization: Mental Health: Strengthening Our Response. WHO (2021)
2. Kroenke, K., Spitzer, R.L., Williams, J.B.: The PHQ-9: Validity of a Brief Depression Severity Measure. *Journal of General Internal Medicine* (2001)
3. Spitzer, R.L., Kroenke, K., Williams, J.B.: A Brief Measure for Assessing Generalized Anxiety Disorder: The GAD-7. *Archives of Internal Medicine* (2006)
4. Cohen, S., Kamarck, T., Mermelstein, R.: A Global Measure of Perceived Stress. *Journal of Health and Social Behavior* (1983)
5. Beck, A.T.: *Cognitive Therapy and the Emotional Disorders*. Penguin Books (1979)
6. American Psychiatric Association: *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5)* (2013)
7. Fitzpatrick, K.K., Darcy, A., Vierhile, M.: Delivering CBT Using a Fully Automated Conversational Agent. *JMIR Mental Health* (2017)

8. Inkster, B., Sarda, S., Subramanian, V.: An Empathy-Driven AI Agent for Mental Health. JMIR (2018)
9. Torous, J.: Digital Mental Health and COVID-19. World Psychiatry (2020)
10. Devlin, J.: BERT: Pre-Training of Deep Bidirectional Transformers. In: NAACL (2019)
11. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A.: Deep Learning. MIT Press (2016)
12. Russell, S., Norvig, P.: Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson (2021)
13. Seligman, M.: Flourish: A Visionary New Understanding of Happiness and Well-Being. Free Press (2011)
14. Kabat-Zinn, J.: Mindfulness-Based Interventions in Context. Clinical Psychology: Science and Practice (2003)
15. Richards, D., Richardson, T.: Computer-Based Psychological Treatments. Clinical Psychology Review (2012)

De la expectativa a la reinterpretación selectiva mínima coherente: hacia un modelo cognitivo del humor

Grigori Sidorov

Instituto Politécnico Nacional, Centro de investigación en Computación,
Mexico City, Mexico

sidorov@cic.ipn.mx

Resumen. Una parte importante del humor parece depender de una ruptura entre lo que el receptor espera y lo que finalmente ocurre. Es una primera idea para la explicación del concepto de humor: se espera una cosa, se genera una expectativa, y no se cumple. Sin embargo, la violación de una expectativa por sí misma no es suficiente para explicar el humor: innumerables acontecimientos inesperados producen sorpresa, preocupación o confusión sin resultar humorísticos. En este trabajo se propone centrar el análisis no en la incongruencia aislada, sino en el proceso de **reinterpretación** que puede desencadenarse después de ella. El contexto inicial conduce al receptor a construir una interpretación dominante de la situación, M_1 , de la que se derivan determinadas expectativas. El desenlace introduce información incompatible con esa interpretación y obliga a construir una segunda interpretación, M_2 , que integra de manera coherente tanto el contexto anterior como el propio desenlace. Se propone que, en muchos casos de humor, esta transformación es **selectiva mínima**: se modifica uno o un número limitado de elementos decisivos, mientras una gran parte de la estructura interpretativa anterior permanece. Esto permite reconocer y contrastar simultáneamente las dos lecturas de una misma situación. Se introduce además el concepto provisional de **ganancia de coherencia**, entendido como la transición desde una interpretación que se vuelve insuficiente ante el desenlace hacia otra que reorganiza retrospectivamente la información y la hace coherente. La propuesta se relaciona con la teoría de scripts de Raskin, la General Theory of Verbal Humor de Attardo y Raskin, el modelo de incongruencia-resolución de Suls, la reestructuración cognitiva descrita por Gleitman, el *frame-shifting* de Coulson y la teoría de Veatch. Finalmente, se plantea una tipología provisional de reinterpretaciones humorísticas y se identifica un problema central todavía abierto: distinguir la reinterpretación humorística de otras reinterpretaciones coherentes que no producen humor. En el futuro se espera preparar unos corpus especializados para estas tareas y realizar varios experimentos computacionales para probar las partes de reinterpretación y de la coherencia.

Palabras clave: Humor, expectativa, incongruencia, reinterpretación mínima, coherencia, scripts, frame-shifting, reestructuración cognitiva.

From Expectation to Minimal, Selective, and Coherent Reinterpretation: Towards a Cognitive Model of Humor

Abstract. A significant part of humor appears to hinge on a rupture between what the receiver expects and what actually occurs. This is a preliminary idea for explaining the concept of humor: one thing is expected—an expectation is generated—but it is not fulfilled. However, the violation of an expectation is not sufficient in itself to explain humor; countless unexpected events elicit surprise, concern, or confusion without being humorous. This paper proposes focusing the analysis not on the isolated incongruity, but on the process of **reinterpretation** that may be triggered by it. The initial context leads the receiver to construct a dominant interpretation of the situation, M_1 , from which specific expectations are derived. The outcome introduces information incompatible with that interpretation, compelling the construction of a second interpretation, M_2 , which coherently integrates both the prior context and the outcome itself. It is proposed that, in many instances of humor, this transformation is **minimally selective**: one or a limited number of decisive elements are modified, while a large part of the previous interpretive structure remains intact. This allows for the simultaneous recognition and contrasting of the two readings of the same situation. Furthermore, the provisional concept of **coherence gain** is introduced, understood as the transition from an interpretation that becomes insufficient in light of the outcome to one that retrospectively reorganizes the information and renders it coherent. This proposal relates to Raskin's script theory, Attardo and Raskin's General Theory of Verbal Humor, Suls's incongruity-resolution model, the cognitive restructuring described by Gleitman, Coulson's *frame-shifting*, and Veatch's theory. Finally, a provisional typology of humorous reinterpretations is presented, and a central, unresolved problem is identified: distinguishing humorous reinterpretation from other coherent reinterpretations that do not produce humor. Future work aims to prepare specialized corpora for these tasks and conduct various computational experiments to test the reinterpretation and coherence components.

Keywords: Humor, expectation, incongruity, minimal reinterpretation, coherence, scripts, frame-shifting, cognitive restructuring.

1. Introducción

Una de las intuiciones más persistentes en el estudio del humor es que existe alguna forma de incompatibilidad entre lo esperado y lo que efectivamente ocurre. Es una primera idea para la explicación del concepto de humor: se espera una cosa, se genera una expectativa, y no se cumple. En un chiste, una narración puede conducir al receptor hacia una interpretación aparentemente natural de la situación y generar, a partir de ella, determinadas expectativas. El remate introduce entonces un elemento que no encaja con esa interpretación.

Esta descripción permite explicar la sorpresa, pero no explica todavía el humor.

Supongamos que una persona intenta encender su automóvil por la mañana y el motor no arranca. La situación contiene una expectativa clara:

$$E_1 = \text{el automóvil arrancará.}$$

El resultado contradice la expectativa:

$$R = \text{el automóvil no arranca.}$$

Sin embargo, no existe necesariamente nada humorístico en ello. Lo mismo sucede con un ejemplo utilizado por Veatch al discutir las teorías basadas en expectativas: esperamos que el Sol aparezca cada mañana, pero si esta expectativa dejara de cumplirse, la experiencia sería extraordinariamente sorprendente y probablemente aterradora, no necesariamente divertida.

Por tanto, po si solo:

$$\text{violación de expectativa} \not\Rightarrow \text{humor.}$$

La hipótesis desarrollada aquí sostiene que, al menos en una clase importante de humor, el elemento fundamental no es simplemente la ruptura de la expectativa, sino lo que ocurre después de esa ruptura. El desenlace obliga al receptor a reinterpretar la situación.

El proceso básico puede representarse provisionalmente como:

$$M_1 \rightarrow E_1 \rightarrow R \rightarrow M_2.$$

La cuestión central de este trabajo es:

¿Qué características debe tener la transición de M_1 a M_2 para que pueda contribuir al efecto humorístico?

La propuesta es una primera aproximación y no pretende, por ahora, explicar todas las formas posibles de humor. Se concentra específicamente en lo que denominaremos reinterpretación y su posible relación con humor.

2. Antecedentes: scripts, incongruencia y reestructuración

2.1. Raskin y los scripts

La Semantic Script Theory of Humor de Raskin [5] constituye uno de los antecedentes más importantes para cualquier teoría lingüística del humor. En términos generales, Raskin propone que un texto humorístico puede ser compatible con dos scripts diferentes que se solapan y mantienen algún tipo de oposición.

Un *script* puede entenderse como una estructura organizada de conocimiento sobre una clase de situaciones. Por ejemplo, el script RESTAURANTE incluye conocimientos sobre clientes, camareros, mesas, comida, pedidos, cuentas, etc.

Al reconocer una situación como restaurante, no es necesario que todos esos elementos estén expresados explícitamente: el conocimiento de los seres humanos y el sentido común permiten completar la situación.

Attardo y Raskin [1] extendieron posteriormente este marco mediante la General Theory of Verbal Humor, que representa los chistes utilizando diversos *Knowledge Resources*, entre ellos la oposición de scripts y el mecanismo lógico.

La propuesta desarrollada aquí no niega la utilidad del concepto de script, pero distingue entre estructura de conocimiento y expectativa.

Un script puede contribuir a generar una expectativa, pero ambos conceptos no son necesariamente equivalentes:

$$\text{script} \rightarrow \text{interpretación} \rightarrow \text{expectativas}.$$

La expectativa representa algo más dinámico: aquello que el receptor anticipa en un punto concreto del procesamiento.

2.2. Incongruencia y resolución

La tradición de incongruencia-resolución también se encuentra muy cerca del planteamiento actual. El modelo de Suls [6] describe la apreciación de chistes mediante un proceso en dos etapas en el que aparece inicialmente una incongruencia y posteriormente se busca una regla o interpretación que permita resolverla.

Esta idea introduce un aspecto fundamental: no basta con detectar una anomalía; debe producirse algún proceso posterior que permita comprenderla.

Sin embargo, términos como *resolución* pueden abarcar fenómenos diferentes. Una de las metas del presente planteamiento es especificar con mayor detalle qué significa resolver una incongruencia. Aquí se propone que, en muchos casos, resolverla significa reconstruir selectivamente el modelo mental de la situación.

3. Gleitman y la reestructuración cognitiva

Un antecedente particularmente cercano es la propuesta que Henry Gleitman [4] denomina *cognitive restructuring*. La conocemos aquí especialmente a través de la exposición que Veatch hace de ella al discutir teorías anteriores del humor. Según esta descripción, se construye una expectativa que posteriormente no se cumple; sin embargo, el resultado sorprendente continúa teniendo sentido.

La semejanza con el planteamiento actual es evidente:

$$\text{expectativa} \rightarrow \text{incumplimiento} \rightarrow \text{resultado inesperado que tiene sentido}.$$

Por esta razón, cualquier teoría basada en expectativa y reinterpretación debe reconocer la reestructuración cognitiva de Gleitman como un antecedente directo.

Sin embargo, nuestra pregunta es algo diferente. No nos interesa solamente afirmar que existen dos maneras de dar sentido a una situación. Nos interesa analizar la transformación entre ellas:

$$M_1 \xrightarrow{\Delta} M_2.$$

¿Qué es exactamente Δ ? ¿Qué debe cambiar? ¿Qué debe conservarse? ¿Por qué una nueva interpretación aparece como coherente con la información anterior?

Estas preguntas desplazan la atención desde la mera existencia de dos lecturas hacia la arquitectura de la reinterpretación.

4. De la expectativa a la reinterpretación

Consideremos el siguiente ejemplo:

Una persona llama a emergencias y dice: “Creo que mi compañero está muerto”. El operador responde: “Primero asegúrese de que esté muerto”. Se escucha un disparo. “Listo. ¿Qué hago ahora?”

El contexto inicial genera una interpretación natural de la instrucción:

M_1 : “asegurarse de que esté muerto” = comprobar que está muerto.

A partir de esta interpretación esperamos que la persona compruebe signos vitales. Sin embargo, el disparo no encaja con esta expectativa.

Aparece entonces una segunda interpretación:

M_2 : “asegurarse de que esté muerto” = hacer que esté muerto con seguridad.

El desenlace produce dos efectos simultáneos. Primero, invalida la interpretación inicial como explicación suficiente de lo ocurrido:

$$M_1 + R \rightarrow \text{incompatibilidad.}$$

Segundo, proporciona la clave necesaria para construir otra:

$$M_2 + R \rightarrow \text{coherencia.}$$

Lo importante es que M_2 no solamente explica el disparo. También permite volver retrospectivamente a la instrucción anterior y reconocer que esa interpretación era lingüísticamente posible.

5. Reinterpretación selectiva

No parece adecuado describir M_1 y M_2 como dos representaciones completamente independientes. En muchos ejemplos humorísticos, una gran parte de la situación permanece intacta. Lo que cambia es uno o un número limitado de elementos decisivos.

$$M_1 = \{a, b, c, d, e\},$$

$$M_2 = \{a, b, c, d, e'\}.$$

El hecho de que solamente e haya cambiado no significa que el cambio sea pequeño. Cambiar el sentido de una sola palabra, una relación causal o la identidad de un referente puede transformar radicalmente la interpretación global.

Por ello, resulta preferible hablar de un cambio selectivo mínimo, y no solo de un cambio pequeño.

La reinterpretación selectiva mínima puede definirse provisionalmente de la siguiente manera:

Se modifica algo decisivo, mientras una gran parte de la estructura anterior permanece para que podamos reconocer y contrastar las dos lecturas.

Consideremos otro ejemplo:

- Doctor, quiero una segunda opinión.
- De acuerdo. Además, usted es muy feo.

La expresión *segunda opinión* activa inicialmente un contexto médico:

M_1 : segunda opinión = evaluación médica realizada por otro médico.

El remate obliga a reinterpretarla como:

M_2 : segunda opinión = una segunda valoración cualquiera sobre la persona.

Prácticamente todo permanece: médico, paciente, conversación, solicitud de opinión. Solo cambia la clase de opinión a la que se refiere la expresión. Pero ese cambio reorganiza completamente el significado.

6. Coherencia retrospectiva

La reinterpretación no es suficiente si simplemente produce otra interpretación imaginable. La nueva representación debe ser coherente con lo que sucede.

6.1. El desenlace debe quedar explicado

M_2 debe explicar por qué ocurre el elemento que había resultado problemático bajo M_1 . Dado que se presenta un desenlace que obliga a repensar la situación. La nueva lectura debe hacer comprensible precisamente aquello que había producido la ruptura.

6.2. El contexto anterior debe continuar siendo compatible

Es importante que el contexto anterior continuara siendo compatible. Por ejemplo, si:

$$C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\},$$

representa la información anterior al remate, entonces M_2 debe integrar:

$$C + R.$$

El receptor debe poder volver mentalmente al contexto y comprobar: “Ahora entiendo por qué aquello podía significar esto”, decir internamente “Ah, eso era”.

Consideremos otro ejemplo de una broma:

“Mi esposa y yo fuimos felices durante veinte años. Después nos conocimos.”

Al comenzar la frase, resulta natural construir:

$$M_1 : \textit{fuimos felices durante veinte años de matrimonio.}$$

El desenlace obliga a construir:

$$M_2 : \textit{cada uno fue feliz durante los veinte años anteriores a conocerse.}$$

La segunda interpretación no contradice literalmente la primera parte de la frase; demuestra que la secuencia inicial podía ser interpretada de otra manera.

6.3. La interpretación no debe depender de información arbitraria

Una reinterpretación resulta débil si para defenderla es necesario introducir numerosos hechos que nunca aparecieron. Idealmente:

$$M_2 = f(C, R),$$

es decir, M_2 debe construirse principalmente a partir del contexto y del desenlace.

6.4. Debe existir continuidad entre las dos interpretaciones

Una reinterpretación implica transformar una representación anterior, no reemplazarla por una historia completamente desconectada:

$$M_1 \xrightarrow{\Delta} M_2.$$

Esta continuidad hace posible comparar M_1 y M_2 .

7. La ganancia de coherencia

El proceso anterior sugiere otro concepto útil: ganancia de coherencia. Antes del remate, M_1 parece suficientemente coherente:

$$C \rightarrow M_1.$$

Después del remate:

$$C + R + M_1 \rightarrow \textit{incoherencia o insuficiencia.}$$

La reinterpretación produce entonces:

$$C + R + M_2 \rightarrow \textit{coherencia.}$$

La experiencia subjetiva correspondiente podría expresarse como:

“*Esto no encaja*” $\rightarrow$ “*Ah, ahora entiendo.*”

Podemos representar provisionalmente la magnitud conceptual de esta transformación como:

$$\Delta C = C(M_2) - C(M_1 | R).$$

Esta expresión no debe entenderse todavía como una fórmula matemática operacional. Su propósito es señalar que el fenómeno relevante puede no ser la cantidad absoluta de coherencia de M_2 , sino el aumento de coherencia que ocurre como consecuencia de la reinterpretación.

8. De “probable” a “coherente”

Es importante distinguir entre que M_2 sea simplemente probable y que sea coherente. Antes del remate pueden existir numerosas continuaciones posibles. No es necesario que M_2 haya tenido una probabilidad elevada.

La propiedad importante aparece después: la reinterpretación se convierte en la lectura que explica coherentemente lo ocurrido. En determinados casos paradigmáticos puede incluso convertirse en la única interpretación razonablemente coherente con el conjunto.

Podemos denominar provisionalmente este proceso como convergencia interpretativa:

$$M_1, M_2, M_3, \dots \xrightarrow{R} M_2.$$

Antes del desenlace, una lectura domina porque parece natural. Después del desenlace, otra domina porque es la que permite integrar toda la información.

9. Tipología provisional de reinterpretaciones

La reinterpretación puede afectar distintos componentes del modelo mental. En lugar de clasificar los chistes únicamente por temas, resulta útil preguntar: ¿qué elemento tuvo que cambiar para pasar de M_1 a M_2 ?

9.1. Reinterpretación semántica

Cambia el significado asignado a una palabra o expresión. En el ejemplo “Primero asegúrese de que esté muerto”, se produce:

$$\text{verificar} \rightarrow \text{provocar}.$$

Otro ejemplo es: “*Mi esposa dijo que necesitaba más espacio, así que me fui de la casa*”. La primera lectura de *espacio* puede relacionarse con distancia emocional o autonomía personal; una reinterpretación literal lo convierte en espacio físico.

Son unos ejemplos de un tipo de humor basado en el juego de las palabras, cuando se reinterpreta qué significaod de palabra efectivamente se usó en el contexto.

9.2. Reinterpretación pragmática

Las palabras pueden conservar sus significados básicos, pero cambia la intención atribuida al hablante:

$$\text{intención}_1 \rightarrow \text{intención}_2.$$

Una pregunta inicialmente entendida como solicitud genuina de información puede revelarse después como ironía, crítica o provocación.

9.3. Reinterpretación situacional

Cambia nuestra comprensión de qué clase de situación estamos observando. Imaginemos una conversación en la que alguien pregunta por alimentación, peso, vacunas y comportamiento. El receptor puede asumir inicialmente que se habla de un niño; una información posterior revela que se habla de un perro.

$$M_1 = \text{consulta pediátrica},$$

$$M_2 = \text{consulta veterinaria}.$$

Muchas frases anteriores siguen siendo compatibles con ambas situaciones. Cambiar el marco situacional modifica retrospectivamente su interpretación.

9.4. Reinterpretación causal

En otros casos no cambia lo ocurrido, sino por qué creemos que ocurrió. Supongamos que una persona corre hacia otra y la aparta bruscamente del camino de un automóvil. Inicialmente construimos:

$$M_1 : \text{lo hizo para salvarla}.$$

Más tarde descubrimos que la apartó porque estaba bloqueando el lugar donde quería estacionar. Los movimientos observados pueden ser exactamente los mismos, pero cambia su explicación:

$$\text{causa}_1 \rightarrow \text{causa}_2.$$

9.5. Reinterpretación referencial

Puede cambiar quién o qué constituye el referente de una expresión. Una narración puede conducir al receptor a asumir que una persona habla de su pareja y revelar posteriormente que estaba describiendo su automóvil:

$$X = \text{persona} \rightarrow X = \text{objeto}.$$

9.6. Reinterpretación normativa o valorativa

Puede permanecer prácticamente intacta la descripción factual y cambiar nuestra evaluación de ella. Una acción inicialmente considerada heroica puede parecer egoísta después de descubrir la verdadera motivación:

M_1 : acción admirable,

M_2 : acción egoísta.

9.7. Combinaciones

Estas categorías no deben considerarse necesariamente excluyentes. Un cambio semántico puede producir inmediatamente un cambio situacional; una reinterpretación causal puede generar simultáneamente una reinterpretación valorativa, etc.

10. Reinterpretación coherente sin humor

Llegamos ahora a uno de los problemas más importantes de la propuesta. Ya hemos establecido:

violación de expectativa $\nrightarrow$ humor.

Pero tampoco parece cierto que:

reinterpretación coherente $\Rightarrow$ humor.

Consideremos lo siguiente:

Oigo golpes sobre el techo y creo que está granizando. Salgo de la casa y descubro que unos trabajadores están reparando el techo.

En esta situación tenemos:

M_1 = granizo,

M_2 = trabajadores.

M_2 explica los mismos sonidos mejor que M_1 , pero la situación no es necesariamente humorística.

Consideremos otro ejemplo:

Pensaba que Juan no había llegado a la reunión porque estaba enfermo. Después descubrí que su vuelo había sido cancelado.

Existe una interpretación inicial, aparece información nueva y se construye una explicación coherente distinta. Tampoco encontramos necesariamente humor.

Por lo tanto podemos observar:

reinterpretación + coherencia $\nrightarrow$ humor.

Esto significa que el modelo que estamos construyendo todavía está incompleto.

11. ¿Qué distingue una reinterpretación humorística?

Una diferencia candidata aparece cuando observamos qué sucede con la estructura inicial después de construir M_2 .

En una corrección ordinaria, M_1 puede simplemente descartarse. En ejemplos humorísticos, en cambio, una gran parte de la estructura inicial permanece necesaria para comprender el efecto.

En el ejemplo ya mencionado:

- Quiero una segunda opinión.*
- Además, usted es muy feo,*

la interpretación médica de *segunda opinión* no desaparece cuando comprendemos el remate. Si desapareciera completamente, la relación humorística entre las dos lecturas se perdería.

Sin embargo, no parece necesario introducir todavía un concepto independiente de “persistencia interpretativa”. Esta propiedad puede entenderse como una consecuencia natural de la reinterpretación selectiva mínima.

En caso que:

$$M_1 = \{a, b, c, d, e\},$$

y

$$M_2 = \{a, b, c, d, e'\},$$

tenemos una gran parte de la estructura común permite reconocer inmediatamente la relación entre ambas.

Por ello, una posible diferencia entre reinterpretación ordinaria y humorística es que la segunda no simplemente corrige una interpretación equivocada. Conserva una gran parte de la estructura inicial para que las dos formas de entender la misma situación puedan contrastarse.

12. Relación con el *frame-shifting* de Coulson

El concepto de *frame-shifting* de Coulson [2] constituye probablemente uno de los antecedentes más próximos a esta propuesta. En su teoría de construcción del significado, la información lingüística y el conocimiento contextual interactúan dinámicamente; determinadas expresiones pueden requerir que el receptor reorganice el marco utilizado para interpretar información previamente procesada.

Coulson y Kutas [3] han aplicado además esta perspectiva directamente a la comprensión de chistes. La coincidencia con la presente propuesta es sustancial:

información previa $\rightarrow$ marco inicial $\rightarrow$ desenlace $\rightarrow$ cambio de marco.

La posible contribución adicional del enfoque desarrollado aquí estaría en describir con mayor detalle algunas propiedades estructurales de la transición:

1. la distinción entre expectativa y estructura de conocimiento;
2. la selectividad de la transformación;

3. la conservación de una gran parte del modelo inicial;
4. la necesidad de que M_2 integre retrospectivamente contexto y desenlace;
5. la posibilidad de describir una ganancia de coherencia;
6. la clasificación de la reinterpretación según el componente transformado.

13. Relación con Veatch

Veatch [7] critica explícitamente las teorías en las que la violación cognitiva de una expectativa constituye el núcleo suficiente del humor. Su teoría introduce una dimensión afectiva y propone que una misma situación puede ser percibida simultáneamente como normal y como una violación de algo a lo que el receptor atribuye importancia.

La crítica resulta relevante porque obliga a distinguir dos cuestiones: ¿cómo se produce la reinterpretación? y ¿por qué una reinterpretación determinada resulta humorística?

Nuestro modelo intenta responder principalmente a la primera. Veatch plantea un posible componente adicional para responder a la segunda. No es necesario aceptar de antemano que ese componente afectivo sea la única respuesta posible, pero sí debemos reconocer que una teoría basada exclusivamente en expectativa, violación y reinterpretación todavía no explica por qué algunas reinterpretaciones producen humor y otras simplemente corrigen una creencia equivocada.

14. Una formulación provisional del mecanismo

Etapas 1: construcción

$$C \rightarrow M_1.$$

Etapas 2: expectativa

$$M_1 \rightarrow E_1.$$

Etapas 3: ruptura

$$M_1 + R \rightarrow \text{incoherencia}$$

Etapas 4: reinterpretación selectiva mínima

$$M_1 \xrightarrow{\Delta} M_2$$

mientras una gran parte de la estructura anterior permanece.

Etapla 5: coherencia retrospectiva

$$C + R + M_2 \rightarrow \text{coherencia.}$$

Etapla 6: ganancia de coherencia

$$\text{incoherencia bajo } M_1 \rightarrow \text{coherencia bajo } M_2.$$

El mecanismo completo puede resumirse así:

$$C \rightarrow M_1 \rightarrow E_1 \rightarrow R \rightarrow \Delta \rightarrow M_2 \rightarrow \text{coherencia retrospectiva}$$

Esta secuencia constituye por ahora una hipótesis conceptual, no una afirmación de condiciones necesarias y suficientes para todo el humor.

15. Implicaciones para una futura representación computacional

Aunque el presente trabajo no desarrolla experimentos, la formulación anterior tiene una ventaja: varios de sus componentes pueden expresarse como problemas computacionales independientes.

Un sistema de análisis del humor podría intentar identificar M_1 , la interpretación dominante del contexto; E_1 , la continuación o acontecimiento esperado; R , el elemento que produce la incompatibilidad; Δ , el componente que debe reinterpretarse; M_2 , la nueva interpretación; y finalmente $C(M_2)$, el grado en que esa interpretación integra el contexto y el desenlace.

Esto permitiría distinguir una aproximación puramente clasificatoria:

$$\text{texto} \rightarrow \{\text{humor}, \text{no humor}\}.$$

De una aproximación explicativa:

$$\text{texto} \rightarrow M_1 \rightarrow E \rightarrow R \rightarrow M_2 \rightarrow \text{coherencia.}$$

La segunda representación permitiría preguntar no solamente si una computadora reconoce humor, sino si identifica el mismo proceso de reinterpretación que parece utilizar un receptor humano.

16. Conclusiones

La hipótesis inicial de que el humor surge de una expectativa que no se cumple resulta insuficiente. Una expectativa puede ser violada de manera radical sin producir humor. El elemento que parece especialmente importante en muchos chistes es la reinterpretación posterior a la violación.

El contexto conduce inicialmente al receptor hacia un modelo M_1 , y este modelo genera expectativas. El desenlace introduce un elemento que M_1 no puede integrar satisfactoriamente. En lugar de terminar simplemente en sorpresa o confusión, el receptor construye un segundo modelo M_2 .

La propiedad crucial es que M_2 no constituye una explicación arbitraria. Debe integrar coherentemente tanto el nuevo acontecimiento como la información anterior.

Además, la transformación parece ser frecuentemente selectiva mínima:

Se modifica algo decisivo, mientras una gran parte de la estructura anterior permanece para que podamos reconocer y contrastar las dos lecturas.

La transición puede describirse también como una ganancia de coherencia. El remate convierte una interpretación inicialmente natural en insuficiente y, casi simultáneamente, proporciona la clave que permite construir una representación alternativa capaz de reorganizar retrospectivamente la situación:

“no encaja” $\rightarrow$ “ahora encaja”

Este enfoque presenta relaciones claras con diversas teorías anteriores. Raskin proporciona el concepto de scripts y su oposición; Suls destaca la transición de incongruencia a resolución; Gleitman describe una expectativa incumplida cuyo resultado inesperado sigue teniendo sentido; Coulson analiza el *frame-shifting* y la reinterpretación de información anterior; Veatch demuestra que una violación cognitiva por sí sola no explica el humor e introduce una dimensión afectiva adicional.

Por ello, la propuesta no debe formularse como si la reinterpretación fuera un fenómeno identificado por primera vez. Su posible contribución consiste en describir con mayor precisión la estructura interna de la reinterpretación humorística: qué cambia, qué permanece, cómo una interpretación se transforma en otra y cómo esta transición genera coherencia retrospectiva.

Sin embargo, persiste una cuestión fundamental. Existen reinterpretaciones perfectamente coherentes que no son humorísticas. Descubrir por qué una reinterpretación produce solamente comprensión mientras otra produce humor será necesario para completar el modelo.

Por ahora, la propuesta puede resumirse mediante cuatro conceptos centrales:

expectativa $\rightarrow$ violación $\rightarrow$ reinterpretación selectiva $\rightarrow$ ganancia de coherencia

En el futuro se espera preparar unos corpus especializados para estas tareas y realizar varios experimentos computacionales para probar las partes de la reinterpretación y de la coherencia.

Referencias

1. Attardo, S., Raskin, V.: Script theory revis(it)ed: Joke similarity and joke representation model. HUMOR: International Journal of Humor Research, 4(3-4), 293-348 (1991). doi:10.1515/humr.1991.4.3-4.293.

2. Coulson, S.: Semantic Leaps: Frame-Shifting and Conceptual Blending in Meaning Construction. Cambridge University Press (2001). doi:10.1017/CBO9780511551352.
3. Coulson, S., Kutas, M.: Getting it: Human event-related brain response to jokes in good and poor comprehenders. *Neuroscience Letters*, 316(2), 71–74 (2001). doi:10.1016/S0304-3940(01)02387-4.
4. Gleitman, H.: *Psychology* (3rd ed.). W. W. Norton (1991)
5. Raskin, V.: Semantic Mechanisms of Humor. (1985). doi:10.1007/978-94-009-6472-3.
6. Suls, J. M.: A two-stage model for the appreciation of jokes and cartoons: An information-processing analysis. In: J. H. Goldstein, P. E. McGhee (Eds.), *The Psychology of Humor: Theoretical Perspectives and Empirical Issues* (pp. 81–100). Academic Press (1972). doi:10.1016/B978-0-12-288950-9.50010-9.
7. Veatch, T. C.: A theory of humor. *HUMOR: International Journal of Humor Research*, 11(2), 161–216 (1998). doi:10.1515/humr.1998.11.2.161.

Electronic edition
Available online: <http://www.rcs.cic.ipn.mx>



<http://rsc.cic.ipn.mx>



Centro de Investigación
en Computación