



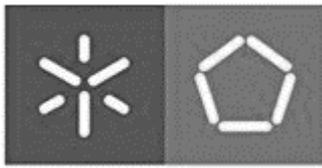
Ramón Alfredo Toala Dueñas

Tutoría Inteligente para mejorar los  
Resultados de Aprendizaje  
Un enfoque en Inteligencia Ambiente

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia







**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ramón Alfredo Toala Dueñas

Tutoría Inteligente para mejorar los Resultados de  
Aprendizaje  
Un enfoque en Inteligencia Ambiente

Tese de Doutoramento  
Informática

Trabalho realizado sob a orientação dos  
Professor Paulo Novais  
Professora Dalila Durães



## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial**  
**CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.



## AGRADECIMIENTOS

Esperando no quedarme corto en agradecer a las personas que contribuyeron directa o indirectamente a la elaboración de esta tesis doctoral, es por eso que quiero expresar mi eterna gratitud.

En primer lugar, me gustaría hacer una mención especial a mis orientadores, profesor Doctor Paulo Novais y profesora Doctora Dalila Durães, por su grandiosa orientación y paciencia durante el transcurso de este trabajo.

Agradezco al Departamento de Informática de la Escuela de Ingeniería Informática de la Universidad de Minho que me permitió realizar las pruebas durante este trabajo, así como el soporte técnico brindado por el grupo de compañeros de este departamento, y por supuesto a todos sus profesores, quienes de una forma u otra me animaron y ayudaron a terminar este trabajo.

También agradezco a los Profesores: Ing. Juan Carlos Cruz Mendoza y a la Dra. Leticia Vaca Cárdenas de la Universidad Técnica de Manabí, por su invaluable aportación al trabajo realizado.

Mi último agradecimiento a mi familia a mis hijos Ramón, Sofía y Gabriel, ya que me dieron fuerzas, y tuvimos que sacrificar el tiempo juntos, cuando tuve que desplazarme hasta la República de Portugal, a mis Padres que en paz descansen, gracias por creer siempre en mí, y desde el cielo me guiaron, y sin el apoyo de todos ellos, no hubiera sido posible la culminación de la tesis.

Un agradecimiento muy especial a la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de mi País Ecuador, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios Doctorales, con una beca cubierta en su totalidad, para lograr con éxito mi trabajo, además de todo su personal que siempre estuvo atento a cualquier ayuda que en su momento requerimos.

Muchas Gracias SENESCYT.







---

## ABSTRACT

---

Intelligent Tutoring System (ITS) aims to adapt to the student's profile, applying the techniques that best suit each of them to obtain better learning results. Some of the tutors on the market only assess the student's emotional state at the end of the work sessions, which alone is not enough to improve learning.

However, many existing platforms do not consider the student's profile and emotional state, making the system very rigid. The ideal would be to have a system that monitors students' profiles and emotions with intelligent environments and affective computing to improve learning.

This work aims to consider the student's interaction with the system, relating emotions, and behaviour, applying techniques that best adapt to obtain the best learning results.

The proposed system is based on the basic structure of an ITS (Domain, Student, Tutor, and Interface). The main objective is to create a network with different modules. Each module will be responsible for monitoring and classifying mood, emotions, and student involvement in learning.

The system has two functions. The first will analyze the student's profile on this way to learn. The second will analyze the student's execution of tasks, such as the time needed to finish the activities, the grades obtained, the mistakes made, etc. At the same time, the functionality of peripheral devices is also monitored and analyzed. The use of the mouse and keyboard is supervised to determine anxiety, attention, and performance. All these functions allow the system to automatically adapt each student's tasks to improve the student's results and involvement.

**Keywords:** Intelligent Tutor, Environmental Intelligence, Artificial Intelligence, learning improvements, emotions







---

## RESUMO

---

O Sistema de Tutoria Inteligente (ITS) visa adaptar-se ao perfil do aluno, aplicando as técnicas que melhor se adaptam a cada um deles, para obter melhores resultados de aprendizagem. Alguns tutores existentes no mercado só avaliam o estado emocional do aluno no final das sessões de trabalho, o que por si só não é suficiente para melhorar a aprendizagem.

No entanto, muitas das plataformas existentes não consideram o perfil do aluno nem o seu estado emocional, o que torna o sistema muito rígido. O ideal seria ter um sistema que supervisione o perfil e as emoções do aluno em ambientes inteligentes e computação afetiva para melhorar a aprendizagem.

Este trabalho tem como principal objetivo a interação do aluno com o sistema, relacionando emoções e comportamento, aplicando técnicas que melhor se adaptem a cada um para obter os melhores resultados de aprendizagem.

O sistema proposto é baseado na estrutura básica de um ITS (Domínio, Aluno, Tutor e Interface). A sua principal função é criar uma rede com diferentes módulos. Cada módulo será responsável por supervisionar e classificar o humor, as emoções e o envolvimento do aluno na aprendizagem.

O sistema tem duas grandes funções. A primeira será analisar o perfil do aluno nesta forma de aprender. A segunda será analisar a execução das tarefas realizadas pelo aluno, como o tempo necessário para terminar as atividades, as notas obtidas, os erros cometidos, etc. Ao mesmo tempo, a funcionalidade dos dispositivos periféricos também será supervisionada e analisada. A utilização do rato e do teclado será supervisionado para determinar ansiedade, atenção e desempenho.

Todas essas partes permitem que o sistema se adapte automaticamente às tarefas de cada aluno para melhorar os resultados da aprendizagem, assim como o envolvimento do aluno nas referidas atividades.

**Palavras Chaves:** Tutor Inteligente, Inteligência Ambiental, Inteligência Artificial, melhorias de aprendizagem, emoções







---

## RESUMEN

---

El Sistema de Tutoría Inteligente (STI) tiene como objetivo adaptarse al perfil del alumno, aplicando las técnicas que mejor se adapten a cada uno de ellos, con el fin de obtener mejores resultados de aprendizaje. Algunos tutores existentes en el mercado solo evalúan el estado emocional del alumno al finalizar las sesiones de trabajo, lo que por sí no es suficiente para mejorar el aprendizaje.

Sin embargo, muchas de las plataformas existentes no consideran el perfil del alumno ni el estado emocional, lo que hace que el sistema sea muy rígido. Lo ideal sería contar con un sistema que monitoree el perfil y las emociones del alumno con entornos inteligentes y computación afectiva para mejorar el aprendizaje.

Este trabajo tiene como objetivo principal la interacción del alumno con el sistema, relacionando emociones y comportamientos, aplicando las técnicas que mejor se adapten a cada uno con el fin de obtener los mejores resultados de aprendizaje.

El sistema propuesto se basa en la estructura básica de un STI (Dominio, Estudiante, Tutor e Interfaz). La función principal es crear una red con diferentes módulos. Cada módulo será responsable de supervisar y clasificar el estado de ánimo, las emociones y el compromiso del estudiante con en el aprendizaje.

El sistema se divide en dos partes. La primera parte analizará el perfil del alumno sobre la forma de aprender. La segunda parte del sistema analizará la ejecución de tareas por parte del alumno, como el tiempo necesario para finalizar las actividades, las notas obtenidas, los errores cometidos, etc. Al mismo tiempo, también se supervisará y analizará la funcionalidad de los dispositivos periféricos. Se supervisa el uso del mouse y el teclado para determinar la ansiedad, la atención y el rendimiento.

Todas estas partes permiten que el sistema adapte automáticamente a las tareas de cada alumno para mejorar los resultados y la participación del alumno en esas actividades.

**Palabras clave:** Tutor Inteligente, Inteligencia Ambiental, Inteligencia Artificial, mejoras de aprendizaje, emociones.







---

## Índice

---

1.	Introducción.....	21
1.1.	Motivación.....	23
1.2.	Desafíos de los Sistemas de Tutorías Inteligentes.....	24
1.3.	Tutores Tradicionales vs. Tutores Inteligentes .....	25
1.4.	Hipótesis de la Investigación.....	28
1.5.	Objetivos.....	29
1.6.	Enfoque Metodológico .....	30
1.7.	Estructura de la Tesis.....	31
2.	Computación Afectiva en Ambientes E-learning.....	33
2.1.	E-learning.....	33
2.1.1.	Plataformas e-learning .....	34
2.1.2.	Limitaciones .....	36
2.2.	Computación Afectiva.....	37
2.2.1.	Caracterización de las Emociones .....	40
2.2.1.1.	Teoría Discreta (Modelo Básico de las Emociones) .....	41
2.2.1.2.	Teoría Dimensional (Modelo Circunflejo de las emociones) .....	42
2.2.1.3.	Teoría de la Evaluación (Modelo OCC Ortony Clore Collins).....	44
2.2.2.	Reconocimiento de Emociones.....	46
2.2.2.1.	Emociones Faciales .....	46
2.2.2.2.	Detección audiovisual de emociones .....	48
2.2.2.3.	Seguimiento Ocular.....	49
2.2.2.4.	Lenguaje Corporal.....	49
2.2.2.5.	Reconocimiento del discurso emocional .....	50
2.2.2.6.	Detección de Emociones en texto.....	50
2.2.2.7.	Sistema de detección de estrés.....	51
2.2.2.8.	Otros reconocimientos de emociones.....	52

2.2.3.	Estados Afectivos.....	54
2.3.	Ambiente Inteligente.....	55
2.3.1.	Definición .....	56
2.3.2.	Caracterización.....	56
2.3.3.	Campos de aplicación de Aml.....	58
2.4.	Síntesis .....	59
3.	Sistemas de Tutorías Inteligentes .....	61
3.1.	¿Qué son los STI? .....	62
3.1.1.	Arquitectura de los STI.....	63
3.1.2.	Evolución de los Tutores Inteligentes.....	65
3.1.3.	Características de los STI.....	67
3.2.	Aplicación de STI.....	68
3.2.1.	Componentes de las aplicaciones de la IA.....	68
3.3.	Seguridad y Ética .....	69
3.4.	Emociones en STI .....	71
3.4.1.	Aprendizaje Afectivo.....	73
3.4.1.1.	Cognición .....	73
3.4.1.2.	Análisis de Comportamiento.....	74
3.5.	Síntesis .....	81
4.	Implementación del Sistema de Tutoría Inteligente .....	83
4.1.	1ª Implementación.....	83
4.2.	2ª Implementación.....	85
4.3.	3ª Implementación.....	87
4.4.	Arquitectura Final Implementada .....	89
4.5.	Desarrollo del STI.....	92
4.5.1.	Caso de uso típico del STI.....	93
4.5.2.	Interacción Persona-Ordenador .....	95
4.5.2.1.	Atención .....	96

4.5.2.2. Emociones.....	97
4.5.3. Identificación del estilo de aprendizaje .....	98
4.5.4. Extracción de sentimientos a través de textos .....	99
4.6. Síntesis .....	99
5. Análisis de Resultados Prácticos.....	101
5.1. Actividades de Aprendizaje .....	101
5.1.1. Caso de Estudio 1 – Atención del usuario en las actividades de aprendizaje .....	101
5.1.1.1. Contexto .....	102
5.1.1.2. Motivación .....	102
5.1.1.3. Objetivos.....	102
5.1.1.4. Resultados.....	102
5.2. Atención y estilo de Aprendizaje.....	106
5.2.1. Caso de Estudio 2 – Interacción Humano Computador en el STI .....	106
5.2.1.1. Contexto .....	106
5.2.1.2. Motivación .....	106
5.2.1.3. Objetivos.....	107
5.2.1.4. Resultados.....	107
5.3. Resultados de Aprendizaje.....	108
5.3.1. Caso de Estudio 3 – Nivel de Aprendizaje.....	109
5.3.1.1. Contexto .....	109
5.3.1.2. Motivación .....	111
5.3.1.3. Objetivos.....	111
5.3.1.4. Resultados.....	112
5.4. Emoción del Estudiante .....	116
5.4.1. Caso de Estudio 4 – Análisis de las Emociones .....	116
5.4.1.1. Contexto .....	117
5.4.1.2. Motivación .....	117

5.4.1.3. Objetivos.....	117
5.4.1.4. Resultados.....	118
5.5. Síntesis .....	120
6. Conclusiones y Trabajos Futuros .....	123
6.1. Contribuciones .....	123
6.2. Validación de la Hipótesis de Investigación.....	127
6.3. Difusión de Resultados .....	128
6.3.1. Adaptive and intelligent mentoring to increase user attentiveness in learning activities (Tutoría adaptable e inteligente para aumentar la atención del usuario en las actividades de aprendizaje) .....	129
6.3.2. Human-Computer Interaction in Intelligent Tutoring Systems (Interacción Persona-Computadora en los Sistema de Tutoría Inteligente) .....	129
6.3.3. Intelligent tutoring system to improve learning outcomes (Sistema de Tutoría Inteligente para mejorar los resultados de aprendizaje).....	130
6.3.4. Emotion and Intelligent Tutors (Emociones y Tutores Inteligentes) .....	130
6.3.5. Otras publicaciones .....	131
Artículos Científicos.....	131
6.3.6. Participación de Eventos.....	131
6.3.7. Supervisión de Estudiantes .....	132
6.4. Observaciones Finales y futuras consideraciones de Trabajo .....	132

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.1 Accionar Tutorial (González & Justel, 2015).....	22
Figura 1.2 Metodología del DSR (Peppers et al., 2007) .....	31
Figura 2.1 Modelo Conceptual de espacio virtual de aprendizaje(Cesteros, 2009) .....	35
Figura 2.2 Síntesis del Proceso Afectivo (Bedekar et al., 2016).....	40
Figura 2.3 Las seis emociones básicas (Ekman, 1992) .....	42
Figura 2.4 El modelo Circunflejo afectivo (Russell, 1980) .....	43
Figura 2.5 La estructura bidimensional del afecto de Watson (Watson et al., 1999) .....	44
Figura 2.6 Modelo OCC (Ortony et al., 1990) .....	46
Figura 2.7 Diferencias entre patrones termales según el tipo de estrés (Lozano Monasor, 2020) .....	52
Figura 2.8 Evolución del Ambiente Inteligente (Waldner, 2007).....	57
Figura 2.9 Las capas principales de inteligencia ambiental (Silva, 2014) .....	57
Figura 2.10 Las principales áreas de la informática detrás de Aml (Silva, 2014) .....	58
Figura 3.1 Naturaleza Multidisciplinaria de los STI (Silva, 2014) .....	62
Figura 3.2 Arquitectura de un Sistema de Tutoría Inteligente (Adaptado de (Silva Rodrigues, 2014)).....	64
Figura 3.3 Módulos Principales de un STI (Cataldi & Lage, 2009).....	65
Figura 3.4 Evolución de los STI (Adaptado de (Molina et al., 2015)).....	66
Figura 3.5 Descripción general de las aplicaciones típicas de AIED y sus relaciones (Southgate et al., 2019) .....	68
Figura 3.6 Comportamiento Biométrico (Durães, 2018) .....	75
Figura 3.7 Resultado de datos de la interacción del mouse y el teclado (Durães, 2018) .....	78
Figura 3.8 Eventos del Mouse (Carneiro & Novais, 2017) .....	80
Figura 4.1 Primera arquitectura implementada (Toala, R., Gonçalves, F., Durães, D., & Novais, P. (2018)).....	84
Figura 4.2 Módulos principales de un STI (Cataldi, Z., & Lage, F. J. (2009)). .....	86
Figura 4.3 Estructura general de un STI (Adaptado de (Silva Rodrigues, 2014)). .....	87
Figura 4.4 Implementación STI. ....	88
Figura 4.5 Arquitectura propuesta del STI (Toala et al., 2021) .....	90
Figura 4.6 Framework del Sistema de Tutoría Inteligente (Toala et al., 2021).....	91
Figura 4.7 Segunda página de la aplicación Teachourself. ....	93

Figura 4.8 Ejemplo de pregunta de la aplicación ITS. ....	94
Figura 4.9 Datos obtenidos por el sistema sen límite de tiempo.....	95
Figura 4.10 Dispositivos de Comportamiento Biométrico .....	96
Figura 4.11 Data set ejemplo.....	97
Figura 4.12 Emociones obtenidas de las respuestas de manera general.....	99
Figura 5.1 Análisis de clasificación Random Forest.....	105
Figura 5.2 Actividad para las cuatro lecciones .....	108
Figura 5.3 Framework del Sistema (Toala et al., 2018) .....	109
Figura 5.4 Secuencia de aplicaciones utilizadas por un alumno específico, con la fecha en la que el alumno pasó a otra aplicación y el tiempo que pasó interactuando con ella (Durães et al., 2019).....	113
Figura 5.5 Ejemplo de movimiento del Mouse .....	114
Figura 5.6 Ejemplo de interacción con el Teclado.....	114
Figura 5.7 Rendimiento en tiempo real: evolución de la interacción de un alumno .....	115
Figura 5.8 Ejemplo Data set.....	115
Figura 5.9 Aplicación del Tutor Inteligente.....	118
Figura 5.10 Total de respuestas de los estudiantes .....	119
Figura 5.11 Total presión tecla de Retroceso y Total de Clicks .....	119
Figura 5.12 Total presión tecla de Retroceso y Total de Clicks en la detección de emociones. ....	120

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1.1 Modelos de Universidades (Rodríguez Espinar & Álvarez González, 2012) .....	26
Tabla 1.2 Ventajas y Desventajas de los Tutores Tradicional e Inteligente .....	28
Tabla 2.1 Emociones y gestos faciales asociados a ellas (Gunes & Piccardi, 2007) .....	48
Tabla 2.2 Emociones (Shaver et al., 1987).....	55
Tabla 3.1 Vista general del conjunto de datos de la biometría del comportamiento .....	76
Tabla 3.2 Ejemplo del movimiento del mouse .....	77
Tabla 5.1 Análisis Comparativo del rendimiento de la categorización del aprendizaje automático .....	103
Tabla 5.2 Random Forest: Matriz de confusión.....	104
Tabla 5.3 Resumen de las características de cada actividad de evaluación .....	107
Tabla 5.4 Resumen de la variación de la función biométrica para cada lección .....	108
Tabla 6.1 Respuesta a los Objetivos Iniciales.....	127
Tabla 6.2 Artículo en la conferencia IBERAMIA2018 .....	129
Tabla 6.3 Artículo en la Conferencia International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence. ....	129
Tabla 6.4 Artículo en Revista Científica AI Communications. ....	130
Tabla 6.5 Artículo en Conferencia World Conference on Information Systems and Technologies. .....	130



---

## ÍNDICE DE ALGORÍTMOS

---

Algoritmo 4.1 Proceso de estilo de aprendizaje. Adaptado de (Durães, 2018) .....	99
--	----



---

## ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

---

### A

AIED	Inteligencia Artificial en la Educación
AP	Agentes Pedagógicos
AUs	Acciones Unitarias
Aml	Inteligencia Ambiente

### C

CA	Computación Afectiva
CAI	Instrucción Asistida por Computador
CPAI	Centros de Promoción y Apoyo al Ingreso Universitario

### D

DSR	Diseño de la Ciencia de la Investigación
-----	--

### E

EDPB	Junta Europea de Protección de Datos
EDA	Electrodérmica
EEG	Electroencefalografía
EMG	Electromiogramas
EOG	Electrooculograma
ERP	Potencial Relacionado con Evento

### F

FACS	Sistema de codificación de acción Facial
fMRI	Imagen por resonancia magnética funcional

### G

GDPR	Reglamento de Protección General
------	----------------------------------

### I

IA	Inteligencia Artificial
IAE	Inteligencia Artificial en la Educación
IES	Institución de Educación Superior
IHC	Interacción Humano-Computador
IS	Ingeniería de Software

## **M**

MEMS	Sistemas micro electromecánicos
------	---------------------------------

## **O**

OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
ONU	Organización de las Naciones Unidas

## **P**

PDA	Asistente Digital Personal
-----	----------------------------

## **R**

RA	Realidad Aumentada
----	--------------------

## **S**

SENESCYT	Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación
STI	Sistema de Tutorías Inteligentes

## **T**

TIC	Tecnología de la Información y Comunicación
-----	---

## **U**

UTM	Universidad Técnica de Manabí
-----	-------------------------------

## **V**

VLE	Ambiente Virtual de Aprendizaje
-----	---------------------------------

---

## 1. Introducción

---

Uno de los principales objetivos de las Universidades del mundo es lograr la excelencia académica en sus estudiantes. Por este motivo, en los últimos años se han incorporado, dentro de sus principales actividades académicas, programas de Tutorías como estrategia para obtener el mejoramiento académico en la enseñanza superior. Estos programas también tratar de bajar el alto índice de deserción estudiantil. Es importante indicar que es verdad que ha crecido el número de estudiantes que ingresan a las Universidades, pero también es preocupante para las autoridades reconocer que el número de estudiantes que logra egresar es contrariamente inferior. Según (Tudela & Ernesto, 2015):

*“el número de alumnos que logra culminar sus estudios superiores no es el esperado, evidenciándose el abandono de un gran número de estudiantes en los primeros semestres. Esto genera problemas financieros en las universidades, y al ser públicas generan gastos al estado”*

Y es justamente en esos primeros semestres que las Instituciones deben actuar para evitar ese abandono prematuro. Así, para evitar estas situaciones, se pueden aplicar acciones positivas tales como (Tudela & Ernesto, 2015):

- Promover que los estudiantes que se encuentren en niveles superiores, egresados y profesionales den charlas sobre sus experiencias para aconsejar como hicieron ellos para mantenerse y en el caso de los profesionales como han llegado a serlo.
- Realizar sesiones en las cuales se realicen asesorías a grupos de estudios.
- Establecer tutorías académicas

En la búsqueda para lograr la reducción parcial o total de la deserción, las Instituciones han incorporado la tutoría como un medio estratégico para contribuir a resolver este problema. Diferentes estudios indican la importancia que tiene la acción de las tutorías en las Universidades (Ariza Ordóñez & Ocampo Villegas, 2005), (Peralta et al., 2017), (Machado et al., 2018).

La importancia que tiene la acción tutorial debe ser analizada tanto desde la visión del alumnado, del profesorado y de la Universidad. Por eso se debe conformar una trilogía donde todos deben aportar y colaborar en lo que corresponda, pero siempre siendo el objetivo principal el porvenir del estudiante. La Figura 1.1 refleja esta trilogía basada en (González & Justel, 2015).

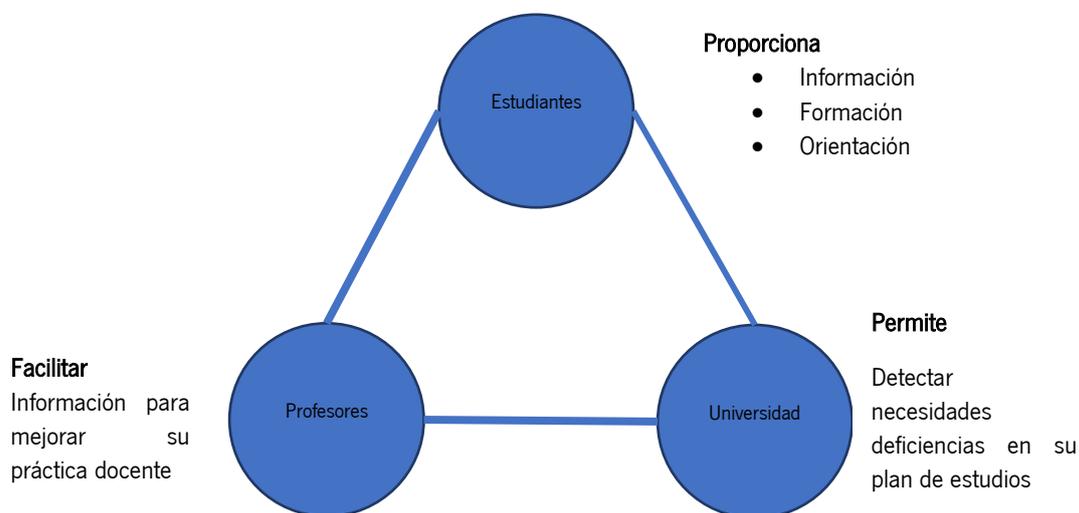


Figura 1.1 Accionar Tutorial (González & Justel, 2015)

Las tutorías en el campo de la Educación Superior han sido anexadas como un eje transversal, lo cual ha ayudado en el aprendizaje autodirigido, su formación integral, y que debe estar ligada estrechamente con los otros estamentos universitarios (Bienestar Estudiantil, Centro de Promoción y Apoyo al Ingreso Universitario CPAI). Estas suposiciones ayudarían a aportar con información relevante de los estudiantes tales como: aprendizaje académico, profesional, personal y social (Nieto, 2008).

Los grandes avances en el campo de las Ciencias de la Computación han beneficiado a todas las áreas del conocimiento. Según (Méndez Pozo, 2008), una de estas áreas en donde se ha visto aplicada la informática es, sin lugar a dudas, en la Educación. La utilización de Entornos Virtuales de Aprendizaje (e-learning), en los que los alumnos interactúan como si se encontraran en un entorno real *pueden aumentarse con aplicaciones de tutorías inteligentes*, recibiendo el nombre de Entornos Virtuales con Tutoría Inteligente.

Estas Tutorías Inteligentes tienen por objetivo que la enseñanza se adapte a las características del alumno y que redireccionen las técnicas con la que cada estudiante se sienta mejor. En la actualidad existe un gran número de este tipo de tutores inteligentes, pero no han

logrado por completo los objetivos deseados, ya que no han tomado en cuenta un elemento muy importante que afecta al aprendizaje del estudiante: el estado de ánimo, en la presente investigación se plantea la creación de una estructura que abarque tanto la dimensión cognitiva del estudiante como su estado emocional, para que en conjunto se tome la mejor alternativa para el momento actual en el cual se encuentra el estudiante.

### **1.1. Motivación**

Según fuentes de la ONU para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la deserción en el nivel de Educación Superior en América Latina y el Caribe bordea cerca del 40% (“Informe UNESCO,” 2015). Según la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), en el 2014 se inscribieron 400.000 estudiantes entre las universidades públicas y privadas (mundo, 2016). En concreto, en la Universidad Técnica de Manabí (UTM), en el mismo año ingresaron 17.000 estudiantes y el 12% abandonó sus estudios (Fuente El Diario 28 de noviembre de 2016). Esto se debe, según los estudios realizados por la UNESCO (“Informe UNESCO,” 2015), a:

1. Estudiantes que al mismo tiempo trabajan y estudian (incompatibilidad);
2. no hay interés por la carrera seleccionada y posiblemente por la Institución;
3. influencia de la familia en la toma de decisiones;
4. falta de guías, tutorías, todo referente a la información de la carrera seleccionada;
5. contenidos que se imparten no llenan las expectativas estudiantiles;
6. condiciones económicas;
7. bajas expectativas de encontrar trabajo

Estas razones llevan en muchas ocasiones a los estudiantes a tomar decisiones erradas y tornándose probablemente en una carga para la sociedad. Es verdad que en los últimos 10 años la Educación Universitaria ha tomado otro rumbo con aplicación de nuevas normas y reglamentos en la educación Superior de la obligatoriedad de rendir exámenes para ingresar a las Universidades. Pero aún el sistema Interno de las Instituciones Educativas no ha conseguido en su totalidad la seguridad para que el estudiante no abandone sus estudios. De los siete puntos anteriormente mencionados, el cuarto es todavía un gran inconveniente (Tutorías), ya que el Docente Universitario en su gran mayoría no ha tenido una formación docente (son más bien

técnicos). Por eso, los aspectos de como guiar metodológicamente a un estudiante se torna difícil una vez que no son pedagogos.

Por otro lado, aproximadamente desde la década de 1970, la Inteligencia Artificial en la Educación (IAE) ha tenido una evolución como un campo interdisciplinario especializado que abarca la aplicación de la tecnología al aprendizaje y la instrucción, principalmente en contextos de educación superior y terciaria. El objetivo de la IAE es permitir un aprendizaje más personalizado, flexible, inclusivo y atractivo, automatizando las tareas de enseñanza cotidiana a través de evaluaciones y comentarios computarizados (Gulson et al., 2018; Luckin et al., 2016). En teoría, los asistentes con IAE podrían ayudar a los profesores a seleccionar recursos, organizar lecciones y aumentar el compromiso y personalizar el aprendizaje de sus estudiantes.

Poder crear un sistema de tutoría inteligente que permita tanto mejorar el aprendizaje del estudiante como aumentar la información sobre el estudiante es uno de los objetivos principales de este trabajo. Poderlo hacerlo de una forma no invasiva y no intrusiva será una ventaja, ya que los estudiantes se sentirán menos presionados.

## **1.2. Desafíos de los Sistemas de Tutorías Inteligentes**

La efectividad que un tutor tiene frente a sus estudiantes de manera individual es muy diferente cuando esta misma instrucción se la realiza en un aula de clases, siendo la primera la más efectiva (Bloom, 1984; Cohen et al., 1982). Y justamente esta tutoría uno-a-uno es implementada en casi todos los niveles de aprendizaje: los profesores citan a sus estudiantes (o estos lo solicitan) para resolver las dudas y problemas de aprendizaje de manera personalizada.

La tarea de un tutor no es nada sencilla, ya que como se mencionó antes, no es lo mismo impartir conocimientos a un grupo que impartirlo de manera individual, donde influyen muchos factores, emocionales, económicos, etc. Dicho tutor debe tener un amplio conocimiento de enfoques teóricos, por ejemplo: i) teoría evolutiva de Vygotsky, con enfoques de bloques organizados en términos; ii) teorías basadas en retroalimentación; y iii) tutores socráticos. Todo esto es mencionado por (Tanner Jackson & Graesser, 2006), indicando que muy pocos tutores conocen sobre estas estrategias y la mayor parte de las veces su esfuerzo queda en buenas intenciones.

Todo lo que abarca la tutoría académica es un gran desafío a tener en cuenta a la hora de diseñar un Sistema de Tutoría Inteligente. Como bien hace referencia (Durães, 2018), el proceso

de enseñanza tiene cuatro fases bien marcadas, que son: (1) requiere que el instructor / docente cree un diseño pedagógico de los objetivos y determine los contenidos a enseñar; (2) se utiliza una evaluación previa para determinar las habilidades de aprendizaje; (3) se utilizan procedimientos pedagógicos cuando se inicia la enseñanza; y (4) la evaluación se aplica para determinar lo que han logrado los alumnos. De acuerdo con los resultados de la evaluación, los instructores deben utilizar la retroalimentación para determinar la causa de la instrucción ineficaz (Hopkins, 1998).

(Andrade et al., 2009) nos dice traducido del inglés: [Las tecnologías que mejoran los entornos de aprendizaje son ideales para generar material de instrucción basado en el estilo de aprendizaje en clases grandes, ya que no tienen las mismas limitaciones que los instructores humanos debido a la falta de recursos y tiempo para enfocarse en estudiantes individuales. Con esta recomendación, el maestro puede mejorar algunas estrategias que pueden aumentar el nivel de atención y compromiso de los estudiantes y pueden mejorar el aprendizaje].

Es muy importante que las Instituciones Educativas no se queden apartadas de la sociedad de la información y enfrenten nuevos desafíos tecnológicos (Castillo & García, 2017), (Ruiz et al., 2018). Cabe recalcar que la gran mayoría de la población estudiantil proviene de entornos sociales muy diferentes, las cuales tienen diferentes necesidades y expectativas.

Los Sistemas de Tutorías Inteligentes (STI) aparecen como una posible solución al gran problema que tienen los profesores en el momento de dar sus clases a un grupo de estudiantes. Aunque las investigaciones de diverso autores en STI (Guillen et al., 2017) (Santos & Falcão, 2017) han dado buenos resultados, no han alcanzado una solución óptima. Estas investigaciones han abierto el camino para enriquecer la ecuación del proceso de enseñanza / aprendizaje con un nuevo miembro, el STI, el cual hay que estar seguro que no reemplazará al tutor humano.

### **1.3. Tutores Tradicionales vs. Tutores Inteligentes**

(Montenegro & Fuentealba, 2010), basándose en un estudio realizado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en el 2009, explican que el claustro universitario tiene una prevalencia en la aplicación de métodos tradicionales de enseñanza. Estas enseñanzas tienen como característica la prevalencia en el aprendizaje individual, lo cual enfatiza la orientación a la memorización y una evaluación homogénea y con esto claramente reproductiva. También en este informe dan a conocer que el diseño de varios tipos de evaluaciones solo

responde al interés del docente por evitar que los estudiantes se copien, más que por elaborar un instrumento de evaluación que verdaderamente responda a la diversidad presente en el aula.

La docencia en las IES (Institución de Educación Superior) constituye el eje vertebral, pero tampoco se puede negar que los modelos formativos, que se aplican en la actualidad, parecieran no considerar todos los cambios que día a día ocurren en la sociedad. Esto es debido a la globalización y evolución de las TIC, que claramente demandan una profunda transformación de la docencia, y por supuesto del profesor universitario (Bell, 2017).

Para (Rodríguez Espinar & Álvarez González, 2012), dentro del origen de la tutoría universitaria destacan tres grandes modelos de universidades: modelo académico, modelo de desarrollo personal y modelo de desarrollo profesional.

*Tabla 1.1 Modelos de Universidades (Rodríguez Espinar & Álvarez González, 2012)*

MODELO	CARACTERÍSTICAS
Académico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligado a la tradición alemana</li> <li>• Centra sus funciones en el desarrollo académico, sin fin de profesionalizar</li> <li>• Estimulo en la ciencia</li> <li>• Papel del Docente es solo académico</li> <li>• Desvinculado de las necesidades de desarrollo del estudiante</li> </ul> <p><b>Conclusión:</b> el profesor solo se responsabiliza en informar sobre los aspectos académicos de su asignatura sin traspasar las paredes del aula</p>
Desarrollo Personal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vinculado con la tradición anglosajona</li> <li>• La universidad presta más atención al bienestar y desarrollo personal de sus estudiantes</li> <li>• Más flexibilidad a los títulos del mercado de trabajo y con poca relación con el mercado laboral</li> </ul> <p><b>Conclusión:</b> esta etapa universitaria, es considerada clave en la formación como personas.</p>
Desarrollo Profesional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surge del traspaso de la formación de la empresa en las escuelas técnicas</li> <li>• Profesor tutor tiene el papel de asegurar la capacitación profesional para la inserción en el campo laboral</li> <li>• Relanzamiento de las habilidades personales</li> </ul> <p><b>Conclusión:</b> Priorización del desarrollo en sí mismo, para la inserción del mercado laboral.</p>

Las tutorías tradicionales, realizadas por los mismos docentes, han tenido una gran aceptación, y el rol dentro de la Educación ha sido el de mejorar el nivel no tan solo académico

del estudiante sino personal y profesional. Pero no podemos dejar de lado que un tutor no va a poder llegar a todos sus estudiantes, ya sea por el número de estudiantes que tiene que atender o porque éstos tienen una gran variedad de formas de aprender, lo que puede traer problemas sociales o personales, entre otros. No obstante, el tutor también puede pasar por esas situaciones (sociales o personales), lo cual no permitiría brindar una tutoría de calidad.

(Rodrigues et al., 2005) (traducido del inglés): [La investigación del proceso de aprendizaje se ha centrado en diferentes aspectos, de acuerdo con las diferentes ramas de la psicología. Hoy en día, el aprendizaje utiliza una mezcla de las teorías de aprendizaje (Teoría del comportamiento, del cognitivismo, constructivista), por lo que independientemente de la teoría aplicada, el proceso de aprendizaje es un ciclo con diferentes pasos.]

Históricamente, la tutoría individual ha sido considerada por la psicología educativa el mejor método de aprendizaje para el ser humano. Es un hecho que en un ambiente personalizado (tutor – alumno) es mucho más efectivo que el ambiente tradicional del aula (maestro – varios estudiantes), debido a la proporción profesor/alumno, ya que el tiempo es un limitante, debido a que el profesor no podría dedicarle el tiempo suficiente a cada uno de ellos. Los STI son una posible solución a este problema, teniendo claro que la tecnología no va a reemplazar al profesor (Silva Rodrigues, 2014).

La IA es una de las disciplinas que mayor éxito y repunte ha tenido en estos últimos 10 años. Ha sido aplicada con bastante éxito en el área educativa mediante sistemas expertos, cuyo objetivo ha sido desarrollar un tutor que pueda desempeñar de forma semejante a un tutor humano (Cala Wilches, 2014).

Es importante recalcar que el objetivo de los STI no es reemplazar al tutor humano, sino asesorar y ayudar al estudiante en los tiempos que el docente no pueda estar con él. En otras palabras, son mediadores pedagógicos virtuales. En la siguiente tabla podremos observar las ventajas y desventajas tanto de los tutores tradicionales y los STI.

Tabla 1.2 Ventajas y Desventajas de los Tutores Tradicional e Inteligente

TUTORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TRADICIONAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contacto Humano</li> <li>• Aclarar los criterios de evaluación</li> <li>• Llegar a conocer al estudiante</li> <li>• Guiarlo en los problemas que tenga en cuanto a un tema determinado</li> <li>• El mismo profesor es el tutor</li> <li>• Formar tutorías de iguales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temor al Tutor</li> <li>• Tutor con problemas personales</li> <li>• Estudiante con Problemas personales</li> <li>• Muchos estudiantes a tuturar</li> <li>• No logra llegar directamente a cada estudiante</li> <li>• No es psicólogo</li> <li>• El tiempo brindado no es el adecuado</li> <li>• Complejo llevar el control de cada estudiante en cuanto avances o retrocesos.</li> </ul>
STI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptabilidad en tiempo y espacio</li> <li>• Reconoce y adapta los temas de acuerdo al estado anímico, al instante</li> <li>• Tutor sin problemas personales</li> <li>• Control en el progreso del estudiante</li> <li>• Uso de la tecnología a cada momento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay el contacto Humano</li> <li>• Técnicas utilizadas para el diseño de los STI.</li> </ul>

#### 1.4. Hipótesis de la Investigación

El aprendizaje es una acción educativa cuyo objetivo principal es colaborar a que las personas desarrollen sus capacidades en una determinada área, logrando así que los individuos se relacionen con su entorno en la cual deben insertarse. Siendo el aprendizaje un proceso que ayuda al desarrollo de las capacidades de un individuo, éste tiene varios factores que influyen en este proceso tales como: sus funciones sensoriales, motoras, cognitivas, afectivas y lingüísticas (Anglin & Morrison, 2000). Por tanto, el principal objetivo de esta investigación se basa en diseñar un STI, teniendo en cuenta un enfoque en técnicas de Inteligencia Ambiente. Este sistema toma en consideración el nivel cognitivo, estado emocional y el nivel de atención de un estudiante a nivel individual para comprobar la mejora del resultado de aprendizaje requerido.

Este trabajo conlleva a plantearse la siguiente hipótesis de investigación:

*¿Es posible que un Sistema de Tutoría Inteligente con la aplicación de técnicas no invasivas de Inteligencia Ambiental pueda analizar el perfil del estudiante, incluida su emoción, para predecir su comportamiento en las lecciones de e-learning?*

## 1.5. Objetivos

El título de esta tesis doctoral es "Tutoría Inteligente para mejorar los resultados de Aprendizajes. Un enfoque en Inteligencia Ambiente". En ese sentido, el trabajo desarrollado se centra en la mejora de los resultados de aprendizaje por medio de un STI. Este sistema de tutor inteligente se plantea de manera que pueda reconocer el estado emocional y rediseñe de manera automática las mejores técnicas de enseñanza para el estudiante en el proceso de toma de decisiones subyacente.

Tomando como punto de partida la atención del estudiante, el objetivo de esta tesis doctoral radica en el estudio y creación de un sistema inteligente que monitoree la atención, su estado emocional y cree un patrón de aprendizaje de un determinado tema de una asignatura que se adapte al usuario. En consecuencia, se identifican las siguientes preguntas centrales de investigación:

- ¿Cómo detectar la atención?
- ¿Cuáles son los mejores métodos para detectar las emociones?
- ¿Por qué es necesario clasificar las emociones?
- ¿Dónde es crucial caracterizar la toma de decisiones del estudiante?
- ¿Cuándo es esencial clasificar los estilos de aprendizajes?
- ¿Quién puede usar el modelo de creación de predicciones?

Las preguntas de investigación previamente especificadas nos permitieron abordar en términos de los siguientes objetivos:

1. Identificar el nivel cognitivo del estudiante y sus preferencias en cuanto a su aprendizaje, para presentarle el mejor contenido para la interacción con el estudiante.
2. Capturar el estado emocional, sin utilizar métodos que incomoden al estudiante, utilizando técnicas de Computación Afectiva.
3. Identificar los medios que sirvan para determinar el comportamiento, a través del análisis conductual y emocional en el momento que el estudiante interactúa en una disciplina determinada.
4. Detectar de los estados emocionales de los estudiantes, que deben ser reconocidos para influir en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
5. Identificar estilos de aprendizaje durante las actividades

6. Crear un modelo adecuado de predicción y clasificación basado en estudios anteriores.
7. Aplicar el modelo de predicción en plataformas de e-learning para un seguimiento no invasivo.

### 1.6. Enfoque Metodológico

En este trabajo se aplica la metodología de investigación conocida como Diseño de la Ciencia de la Investigación (DSR) ( Figura 1.2). DSR es un paradigma para la resolución de problemas en los que se crean innovaciones (Cheong et al., 2013).

El haber seleccionado el uso de DSR como la metodología de la investigación se basa en las siguientes razones:

1. La necesidad de aumentar la relevancia de la investigación para la educación (Peffer et al., 2007) (Akker et al., 2006). La investigación educativa ha sido seriamente cuestionada por su desvinculación con la práctica (McKenney & Reeves, 2013).
2. DSR es muy útil también ya que se puede plantear para efectuar experimentos que sirven para examinar los efectos de las intervenciones educativas en aulas reales (Cobb et al., 2003). Todo esto puede ser desarrollado mediante el estudio combinado entre el proceso de aprendizaje y los medios que respaldan este proceso (Akker et al., 2006) (Cobb et al., 2003).
3. Ante la necesidad de robustez del diseño de la práctica, es necesario crear un esquema del diseño más claro (Akker et al., 2006), para poder realizar un estudio de la influencia de la emoción en el aprendizaje.
4. La posibilidad de utilizar entre varios tipos de participantes que pueden contribuir de formas diferente, en lo que tiene que ver con sus experiencias, a la recolección y estudios de los datos (Barab & Squire, 2004).
5. A este tipo de estudio se lo considera progresivo, ya que el diseño se supervisa continuamente. Aquí se incluyen nuevas evidencias, las cuales han sido obtenidas a lo largo del proceso de investigación (Collins et al., 2004), todo esto con el fin de aplicar este criterio (ciclo continuo), lo cual permite a los investigadores refinar constantemente las suposiciones.

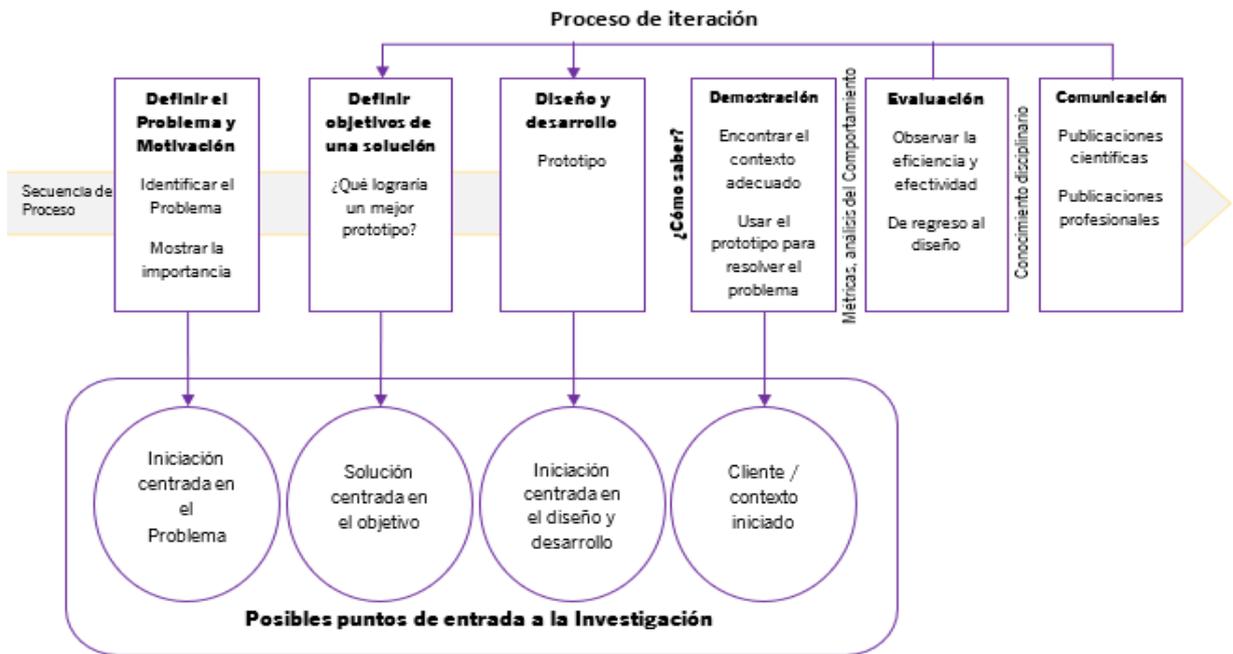


Figura 1.2 Metodología del DSR (Peffers et al., 2007)

## 1.7. Estructura de la Tesis

Esta sección pretende ser una guía para ayudar a los lectores a encontrar fácilmente el contenido de esta tesis y también para comprender algunos aspectos relacionados con la estructura del documento.

Esta tesis se presenta bajo el esquema de un libro. El primer contenido que se proporcionará es un resumen de la tesis doctoral, tanto en portugués como en español. Esto es seguido por la tabla de contenido, índice de figuras, índice de tablas, la lista de algoritmos y un glosario de acrónimos y abreviaciones.

La tesis está dividida en seis bloques principales: Capítulo 1: Introducción Capítulo 2: Computación afectiva en ambientes de e-learning; Capítulo 3: Sistema de Tutoría Inteligente; Capítulo 4: Implementación do Sistema de Tutoría Inteligente; Capítulo 5: Análisis de Resultados Prácticos; Capítulo 6: Conclusiones y Trabajos Futuros. Al final de la tesis, se presenta la Bibliografía utilizada.

Cada capítulo de la tesis tiene un propósito bien definido. Como tal, se presenta un breve resumen de cada uno.

Capítulo 1 Introducción, presenta la tesis con la exposición de conceptos que son relevantes para la comprensión de su alcance y propósito. Se describe la situación actual, una introducción

y presentación de motivación y limitación. Sobre la base de estas limitaciones y los desafíos que presenta, se definen la Hipótesis de investigación y los objetivos de la tesis. Se describe la metodología de investigación. La sección termina con la estructura y el contenido de la tesis.

Capítulo 2: Computación afectiva en ambientes de e-learning, se discute el estado general del e-learning, centrándose específicamente en la computación afectiva, En la computación afectiva, se discuten todos los conceptos relacionados con las emociones; sentir y reconocer emociones; aprendizaje afectivo; y comportamiento del usuario. En todos estos conceptos se muestran los fundamentos teóricos de los mismos. También se introduce el tema de los entornos inteligentes, especificando algunos de los conceptos básicos.

Capítulo 3: Sistemas de Tutorías Inteligentes, da un enfoque de los STI, sus características y cómo han evolucionado en el tiempo. Además, se explicará lo referente a las plataformas de e-learning, y como las emociones influyen en ese entorno, terminando con el tratamiento de la privacidad de los datos.

Capítulo 4: Implementación do Sistema de Tutoría Inteligente, se describe la arquitectura y el prototipo desarrollado, destacando cada uno de los modelos de la arquitectura y la descripción de las técnicas de computación afectiva utilizadas y los detalles de implementación.

Capítulo 5: Análisis de Resultados, en este capítulo se presenta nuevamente los objetivos de la investigación, los participantes y el método de recolección de datos. Finalmente presenta todos los análisis de datos y resultados obtenidos.

Capítulo 6: Conclusiones y trabajos futuros, aquí encontrará una descripción de las contribuciones resultantes de la tesis y cómo responden a los objetivos iniciales. También se presenta cómo se valida la Hipótesis de investigación. Además, se enumeran las actividades realizadas para la difusión de resultados. El capítulo termina con observaciones finales y consideraciones sobre trabajos futuros.

# 2

---

## 2. Computación Afectiva en Ambientes E-learning

---

En los tiempos actuales las Instituciones Educativas (públicas o privadas), no pueden escapar con la responsabilidad de incluirse en la sociedad de la información, y deben siempre enfrentarse a los nuevos retos que impone la tecnología. Teniendo en cuenta que la población estudiantil es muy diversa (proviene de diferentes entornos sociales), y que traen consigo necesidades y expectativas variadas, esto acompañado de la exigencia de la sociedad actual, para tener a profesionales más calificados.

*“Esto pone un gran reto, el cual es adaptar su papel (profesor) a la nueva realidad, la cual se basa en el que el aprendizaje ya no se centra únicamente en el aula, sino que se logra también por el acceso a las TIC, por el aula virtual y por la enseñanza semipresencial y a distancia” (Rodríguez & Caro, 2003)*

Por lo tanto, las Universidades se enfrentan a nuevos paradigmas tecnológicos, a una nueva demanda de profesionales, para una nueva sociedad. Es por eso que estas instituciones están procurando satisfacer estas necesidades invirtiendo en investigación, recurso humano y tecnológico. Y es justamente en ese campo que las nuevas herramientas pedagógicas, tales como las plataformas e-learning y los sistemas de tutorías inteligentes juegan un papel preponderante, para lograr ese nuevo objetivo que la sociedad espera.

### 2.1. E-learning

Los sistemas e-learning crean formas novedosas y estrategias de enseñanza-aprendizaje utilizando las TIC. Esto se da tanto en Organizaciones educativas Superior como en la formación de las organizaciones corporativas (Yi & Hwang, 2003). Esta visión puede ser interpretado de diferentes maneras, entre estas: “sistema de entrega de educación basado en computadora que se proporciona a través de Internet”, o “un método educativo que puede proporcionar oportunidades para las personas necesarias, en el lugar correcto, con los contenidos correctos, y el momento adecuado” (J.-K. Lee & Lee, 2008).

Bajo estos puntos de vista, un sistema e-learning debe tener las siguientes características (Craciunas & Elsek, 2009):

- El proceso de aprendizaje tiene lugar en un aula virtual
- El material educativo se encuentra disponible en el Internet e incluye documentos, imágenes, audio y video, y enlaces a otros recursos que se encuentran en línea
- Dicha aula es coordinada por un profesor, el cual planifica todas las actividades que los estudiantes tienen que realizar, asesora y guía por medio de los foros de discusión y/o chat, además está presto a proporcionar recursos adicionales
- El aprendizaje dentro de este esquema se vuelve un proceso, en el cual se construye una comunidad en la que se aprende a través de la interacción y colaboración entre todos los integrantes del aula virtual.
- La gran mayoría de sistemas e-learning, permiten monitorizarlas actividades de los participantes, los trabajos en grupos, la interacción de audio y video, etc.

Aunque existen en el Internet una gran cantidad de sistemas e-learning de manera gratuita, no es menos cierto que las Instituciones Educativas deben ajustarse a estos sistemas, lo cual provoca muchas restricciones y en ocasiones no permiten tener un control total sobre el mismo, y debido a los altos costos de sistemas a la medida, hacen que las Instituciones opten por los programas llamados OpenSource (libres), y adaptarse a ellos.

A medida que el papel del profesor pierde gradualmente su sustancia en un sistema e-learning, algunos problemas deben examinarse cuidadosamente para que los procesos educativos guiados por aplicaciones de software (por ejemplo, los sistemas de tutoría inteligente) incorporen las mejores facetas de los expertos humanos (Almeida et al., 2008).

### **2.1.1. Plataformas e-learning**

Estas plataformas son aplicaciones web las cuales integran una serie de herramientas para la enseñanza-aprendizaje online, lo cual permite una enseñanza no presencial (e-learning) y/o también la combinación de la enseñanza en Internet con las experiencias de las clases presenciales (b-learning).

El objetivo principal de una plataforma e-learning se basa en crear y gestionar los espacios de enseñanza y aprendizaje (EA), donde tanto docentes como estudiantes puedan interactuar

durante todo su proceso de formación. Se debe tener claro que los EA pueden llevarse desde tres formas diferentes:

- Las aulas físicas (enseñanza presencial)
- Sitios en Internet (no presencial/virtual) e-learning
- una combinación de ambas (mixta) b-learning

Este proceso de aprendizaje se puede organizar a través de un diseño de aprendizaje (educación estrictamente e-learning), pero hay que tener en cuenta que dependiendo de la forma como se utilice una plataforma virtual, no se realice el diseño de aprendizaje, ya porque se considera solo como una herramienta adicional a la enseñanza presencial o solo es utilizada como medio de almacenamiento y manipulación de información.

El diseño de aprendizaje (LD: Learning Design) es el que va a definir y a planificar el trabajo de cada uno de los elementos que participan en este entorno (docentes, alumnos y de todas las actividades a realizar), este diseño se encuentra relacionado entre: EVAs, espacios virtuales, escenarios y diseño de aprendizaje, en la Figura 2.1 podemos observar esta relación.

Una de las plataformas mayormente utilizada es el MOODLE. Esta es una herramienta de gestión de aprendizaje (LMS) utilizada para ayudar a los educadores a diseñar comunidades de aprendizaje on-line. Esta puede ser usada en b-learning, educación a distancia, clase invertida y muchos proyectos como herramienta adicional a la enseñanza cotidiana.

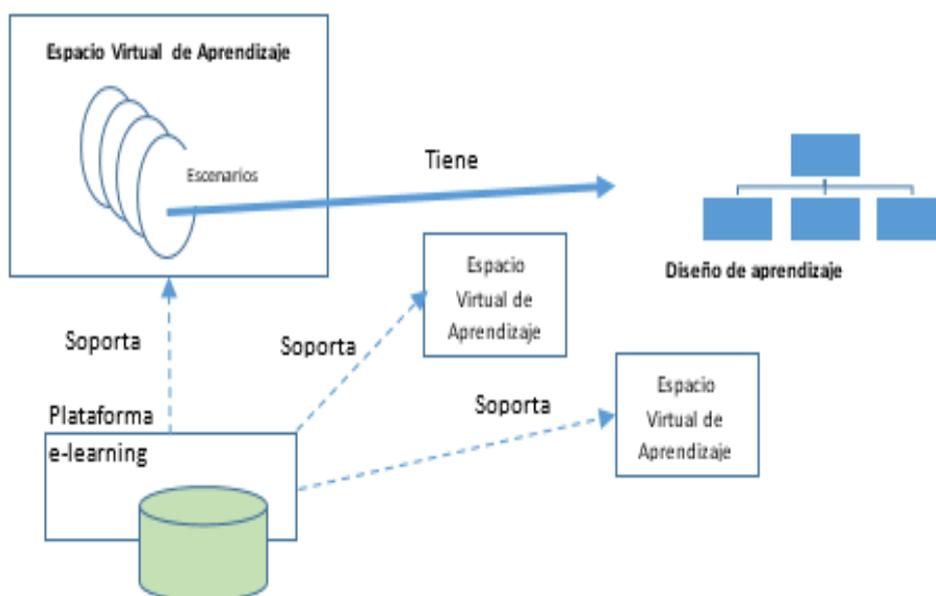


Figura 2.1 Modelo Conceptual de espacio virtual de aprendizaje(Cesteros, 2009)

En el Ecuador el e-learning es un concepto novedoso, aunque la Universidad Particular de Loja (UTPL) es la pionera en utilizar MOODLE en sus carreras a distancia. En la actualidad está siendo utilizado ya por la mayoría de Instituciones de Educación Superior, aunque es verdad que aún no está totalmente explotada, debido a que todavía hay que romper paradigmas de la educación actual (aulas físicas).

Debido a una alta demanda de cupos para ingresar a la educación superior la Secretaría de Educación Superior Ciencia y Tecnología (SENESCYT), acentuada actualmente con la pandemia que azota el mundo como es el COVID-19, se ha visto obligada a promover esta modalidad de estudios desde el segundo semestre del año 2018. Han sido 5 universidades que las que brindarán esta modalidad de estudio, en la actualidad todas tuvieron que utilizarla, pero no porque son carreras online, sino por la obligatoriedad de lo acontecido con lo anteriormente indicado. Pero de esta situación nace la pregunta: ¿Estarán preparados con los recursos técnicos, didácticos, humanos?

La Universidad Técnica de Manabí, viene, desde el año 2013 adoptando lo que se llaman materias virtuales, en un primer momento con 4 materias. Al día de hoy ya son cerca de 20 materias, en su gran mayoría son materias comunes para todos los estudiantes. Se ha venido trabajando en la plataforma MOODLE, no se puede dejar de lado que se han tenido muchos tropiezos, pero con el pasar de los años esto ha mejorado grandemente, y hoy forma parte de las 5 universidades del país que ingresó a este proyecto piloto de las carreras virtuales.

### **2.1.2. Limitaciones**

Algunos problemas en el uso de los sistemas de e-learning son:

- Preparación del estudiante: se necesitan muchos esfuerzos para garantizar que los estudiantes tengan las habilidades y la experiencia, así como el acceso al hardware y software necesarios para completar con éxito el curso basado en las TIC. Por tanto, la gestión del tiempo y las habilidades metacognitivas están relacionadas con las actitudes y la motivación del alumno;
- Personal involucrado: como estudiantes, los docentes deben tener habilidades, conocimientos y acceso al hardware y software necesarios en este caso para facilitar el diseño y desarrollo de un curso basado en TIC. Deben tener una excelente gestión del tiempo y motivación para brindar asistencia y realizar un seguimiento del progreso de los

estudiantes. Sin embargo, algunos autores diferencian el rol del docente, responsable de la selección de contenidos, seguimiento y asistencia al alumno, y el rol del responsable del diseño y creación del curso e-learning de los contenidos, objetivos y metodologías, estableciendo así la necesidad de diferentes perfiles;

- Gestión de la información: a pesar de todas las habilidades técnicas y de gestión del tiempo, tanto los profesores como los estudiantes requieren interfaces que reduzcan los problemas logísticos y técnicos;
- Equidad: no todos los usuarios tienen el mismo acceso a Internet. La tecnología aumenta las diferencias entre quienes tienen y quienes no tienen tales posibilidades;

Debido a todas estas limitaciones del e-learning, seremos capaces de superar estas dificultades con el desarrollo de técnicas de computación afectiva y la aplicación de soluciones de inteligencia ambiental.

## **2.2. Computación Afectiva**

Podemos llegar a imaginar a un profesor que enseña de una manera diferente a sus estudiantes, de acuerdo al estado emocional de ellos, detectándolo en las expresiones de su cuerpo, cara o voz, y que el docente, dependiendo de esto, cambie su forma de explicar adaptándola a cada uno de ellos. En verdad esto suena difícil para un tutor, más todavía para un profesor que tenga un gran número de estudiantes.

Normalmente lo que sucede es que el estudiante se debe adaptar al profesor, al estilo de aprendizaje de los demás y a las condiciones que pone el lugar de estudio. Es ahí donde el avance de la tecnología ayuda mucho, sobre estos cambios emocionales, interpretarlos mediante el uso de la tecnología y ofrecer una nueva y mejor forma de adquirir conocimientos.

Según (Baldassarri Santalucía, 2016), durante algunos años, la investigación académica en lo referente al comportamiento humano ha sido marginal en lo referente a las emociones, por ende solo se ha centrado en el pensamiento racional. Sin embargo, los estudios más recientes han encontrado cómo influyen las emociones en el pensamiento racional, debido a que influyen en la percepción y en las tareas diarias. Aunque se sabe que las emociones son parte fundamental de la persona, desde el punto de vista tecnológico esto ha sido ignorado durante muchos años, lo que se ha evidenciado en la frustración de los usuarios justamente cuando les toca hacer uso de la tecnología.

Existen investigadores que sí le dan la importancia que se merece el saber cómo las emociones mejoran la experiencia de interactuar con una aplicación informática. Una de las primeras investigaciones es la de Rosalind (Picard, 1997), quien introdujo el concepto de computación afectiva (CA) traducido del inglés: [la informática que se relaciona, surge o influye deliberadamente en las emociones]. (Lee et al, 2012) también la definieron como el estudio de tecnologías para reconocer, modelar y expresar fenómenos afectivos humanos tales como emociones, estados de ánimo, actitudes y rasgos de personalidad. La CA se encauza en establecer modelos basados en señales fisiológicas y de comportamiento recogidas por sensores para percibir, reconocer y comprender las emociones humanas y proporcionar una mejor retroalimentación.

En un estudio realizado por (Causa & Sosa, 2007) se menciona que la afectividad es un área muy significativa en el comportamiento y la interrelación humana. Su objetivo, según los autores, es lograr que los computadores lleguen a comprender nuestras emociones y por supuesto “expresarlas” (o simular) sus propias emociones. Hay varios campos en los que se puede aplicar CA: Interfaz Humano Computador (IHC) comunicación basada en texto y realidad virtual; monitoreo humano; y sistemas educativos. En el campo de la IHC, la máquina necesita sentir y reaccionar a las emociones humanas respectivamente (Toala et al., 2019).

Existen dos problemáticas de las que se encarga la CA (Causa & Sosa, 2007):

1. El reconocimiento de emociones (y expresiones emotivas) humanas por parte del computador.
2. La simulación (o generación) de estados y expresiones emocionales con computador.

En los tutores inteligentes estos dos aspectos juegan un papel muy importante, ya que pueden detectar en qué momento el estudiante requiere de un descanso, o como redireccionarlo para volver a tener toda su atención. Así, podríamos plantearnos una pregunta planteada y resuelta por los STI: ¿Qué quieres aprender hoy?

El gran potencial que tiene en la actualidad la CA es su uso como tecnología de subcomponentes para otros sistemas. La CA puede mejorar las capacidades de gestión de relaciones con los clientes y sistemas de recomendación. Estos sistemas se pueden aplicar en varios sectores, concretamente en los sistemas de tutoría inteligente, donde podemos evaluar.

Estos sistemas se pueden aplicar en varios sectores, concretamente en los sistemas de tutoría inteligente, donde podemos evaluar, en tiempo real de las emociones como pueden ser el estrés, el aburrimiento o la distracción. También podrían ser de gran interés en ambientes donde se realicen trabajos repetitivos (Baldassarri Santalucía, 2016).

La CA comprende que las emociones tienen un papel vital en los seres humanos, regulando nuestra intención. Sirve para ayudarnos a tomar las mejores decisiones, cambiando en la manera como damos prioridad a las cosas, organizando o descubriendo lo que importa con la firme intención de mejorar la calidad en la comunicación humano-computadora, y por supuesto, mejorar la inteligencia de la computadora (Ver Figura 2.2). La CA crea el “modelo de afecto”, el cual se basa en la información que se captura por varios sensores, dando la posibilidad de construir sistemas informáticos adaptables con la capacidad de percibir e interpretar los sentimientos humanos. Por lo tanto, podrían darnos respuestas inteligentes, sensibles y amigables.

Existen diferentes métodos para captar el estado de ánimo de una persona (Pacheco & Berrocal, 2004), entre ellos: cámaras (captura movimientos corporales, gestos e inclusive detección de expresiones faciales), los eyes-trackers (obtener información de la dilatación y el seguimiento de las pupilas), micrófonos (capturar lenguaje, variaciones de tonos o volumen de la voz), lecturas de textos, interacción con el mouse y/o teclado, más adelante serán expuestos estos métodos.

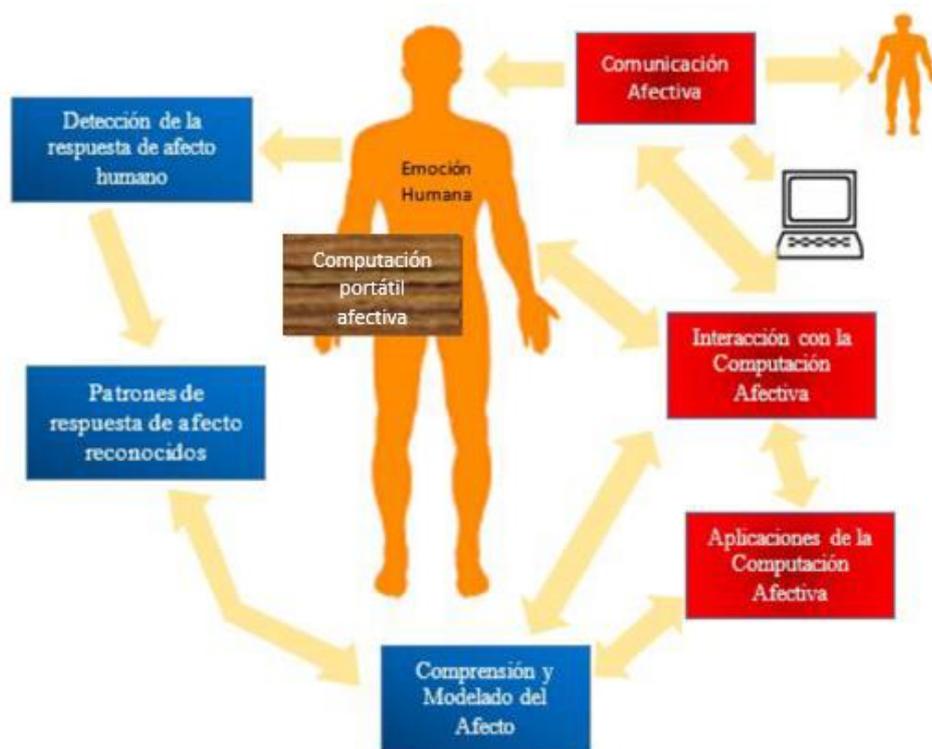


Figura 2.2 Síntesis del Proceso Afectivo (Bedekar et al., 2016)

### 2.2.1. Caracterización de las Emociones

Como se ha comentado anteriormente, los entornos virtuales de aprendizaje han tenido la deficiencia de no conocer el estado de ánimo de los usuarios. Es importante reconocer el rol que tiene este aspecto en el proceso de enseñanza aprendizaje y en la forma como las personas se comunican. (Picard, 1997) indica que hay evidencias muy ciertas de que, en el aprendizaje racional, hay una dependencia de las emociones.

Estudios realizados por la psicología, la informática, la medicina, la ciencia cognitiva, la neurociencia, la filosofía, la sociología (Montañés & de Valencia, 2005), (Maffía, 2005) han contribuido a comprender de una manera diferente los términos básicos que tienen relación con el afecto. Estos términos pueden ser las emociones, estados de ánimo, sentimientos, actitudes, temperamentos, motivación, atención y muchas otras más, y es justamente el definir la emoción uno de los problemas en los cuales estas ciencias no han logrado definirla totalmente.

En el momento de analizar la emoción, existieron teorías conocidas como “corriente cognitiva” y “corriente perceptiva” (Melamed, 2016) que intentaron definir las interrelaciones de todos sus componentes que están involucrados en la emoción y sus causas, las razones y la función de una respuesta emocional. Bajo esta premisa, se han visto una gran cantidad de

definiciones del término emoción prácticamente desde 1981 (Kleinginna & Kleinginna, 1981), algunas de las cuales se explican a continuación.

Varias investigaciones pretenden relacionar la emoción y la computadora. Según (Ortony et al., 1990), la caracterización de las emociones es usada generalmente en el campo de la ciencia cognitiva, y tiene una conexión con la CA, lo que permite a las computadoras reconocer y expresar emociones. Varios investigadores de CA e IHC han apuntado varios métodos para censar y reconocer las emociones humanas (Rincon et al, 2018). Las formas de expresar nuestras emociones tienen dos maneras principales de hacerlo: por medio de la expresión facial y la entonación de la voz.

A lo largo de las investigaciones sobre la caracterización de las emociones, se han creado varios modelos en un esfuerzo para sistematizar el surgimiento de las emociones y su comportamiento. Las teorías más aceptadas en este campo son: la discreta (Ekman & Friesen, 1969), la dimensional (Russell, 1980) y las de evaluación (Leventhal & Scherer, 1987).

#### 2.2.1.1. Teoría Discreta (Modelo Básico de las Emociones)

Según (Ekman & Friesen, 1969), (Keltner & Ekman, 2000) traducido del inglés [La teoría emocional discreta proponen la existencia de emociones o estados básicos (felicidad, ira, tristeza, sorpresa, disgusto y miedo, por ejemplo) que se manifiestan y reconocen universalmente]. Los modelos discretos tienden a agrupar las emociones en categorías y suponen que son independientes. En la literatura, entre los modelos discretos, el más conocido es el modelo de emociones básicas propuesto por Ekman (Ekman, 1992). Este modelo propone la existencia de seis emociones básicas: alegría, tristeza, miedo, enfado, sorpresa y disgusto. Una de las principales ventajas de los modelos discretos es que, mediante experimentos psicofísicos, la percepción de las emociones por parte del ser humano es discreta. De esta forma, estos modelos pueden asociar fácilmente las emociones con las expresiones faciales que las representan.

Las seis emociones básicas de Ekman (Ekman, 1992) están representadas por seis expresiones faciales universales, ya que son comprensibles para personas en diferentes lugares, independientemente de la cultura. En la **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** se muestra la expresión facial de las seis emociones básicas.



*Figura 2.3 Las seis emociones básicas (Ekman, 1992)*

#### 2.2.1.2. Teoría Dimensional (Modelo Circunflejo de las emociones)

Esta teoría pretende explicar las emociones en términos de dos o tres dimensiones, siendo la más frecuente la de dos dimensiones llamadas “excitación” y “valencia”. La excitación refleja el grado general de intensidad que se siente (la excitación baja se asocia con menos energía y la excitación alta con más energía). La valencia se relaciona con una evaluación positiva o negativa y se asocia con el estado de sentimiento de placer vs. disgusto. Sin embargo, utilizando estas teorías bidimensionales es difícil diferenciar las emociones que comparten los mismos valores de valencia y excitación, como la ira y el miedo. Por esta razón, a menudo se agrega una tercera dimensión, la imprevisibilidad que puede suceder en respuesta a algo que la persona haga.

Uno de los modelos dimensionales más conocidos en 2D es el modelo circunflejo afectivo, propuesto por Russell (Russell, 1980). Los seguidores de este modelo afectivo sugieren que cada experiencia afectiva es una consecuencia de una combinación lineal de dos dimensiones, resultando en una emoción particular presentada en la Figura 2.4.



Figura 2.4 El modelo Circunflejo afectivo (Russell, 1980)

El modelo circunflejo afectivo consiste en la distribución de emociones en un sistema de coordenadas. En este sistema de coordenadas, el eje X mide la valencia, de emociones positivas a negativas, y el eje Y mide el nivel de excitación. El modelo afectivo cae en un círculo donde es posible encontrar emociones como placer (0°), excitación o activación (90°), disgusto o desagradable (180°) y somnolencia o desactivación (270°). El miedo, por ejemplo, se conceptualiza como un estado neurofisiológico que involucra la combinación de valencia negativa y mayor activación en el sistema nervioso central. En su estudio, Russell (Russell, 1980) presentó una lista de 28 palabras que la gente usa para describir sentimientos, estados de ánimo y emociones, algunas de las cuales se observan en la Figura 2.5.

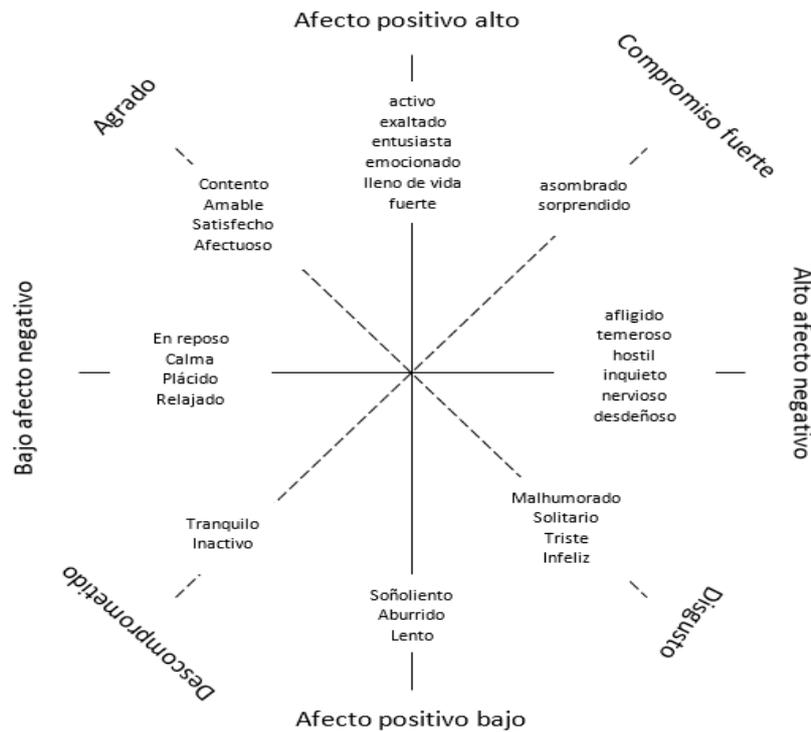


Figura 2.5 La estructura bidimensional del afecto de Watson (Watson et al., 1999)

El modelo de estudios presente en la Figura 2.5 de Watson, Wiese, Vaidya y Tellegen (Watson et al., 1999) se apunta a considerar dos grandes factores en las experiencias emocionales, las cuales son frecuentemente tipificadas como el afecto positivo (AP) y el afecto negativo (AN). Se trata de un modelo bidimensional de la estructura básica del afecto y que son independientes. La proximidad o la distancia entre las emociones representadas en la circunferencia presupone la similitud o la diferencia entre las emociones. Este modelo define que las emociones están relacionadas menos positivamente cuando están separadas aproximadamente a 90°. A 90° de separación, dos estados afectivos deben estar poco o nada relacionados. A su vez, a 180° de separación, los estados afectivos deben estar relacionados negativamente.

### 2.2.1.3. Teoría de la Evaluación (Modelo OCC Ortony Clore Collins)

Manifiestan Leventhal y Scherer (Leventhal & Scherer, 1987) *traducido al español*: “la tercera visión enfatiza el componente distintivo de las emociones, y a menudo se denomina visión componencial”. Los psicólogos cognitivos emocionales centran sus estudios principalmente en el proceso de valoración. Según Dalgleish y Power (Dalgleish & Power, 2000), la idea central es que las emociones se desencadenan y diferencian mediante un análisis subjetivo de un evento, situación u objeto. Esta evaluación cognitiva realizada personalmente se denomina valoración.

Entonces, la emoción y la razón no están desconectadas. De hecho, las emociones requieren procesos cognitivos para generar o recuperar preferencias y significados. Las emociones se desencadenan por la interpretación personal de los aspectos molestos o alegres de un evento a través de una valoración. Y la valoración es un proceso cognitivo, que desencadena las emociones. Basado en conceptos de teorías de valoración, el modelo OCC (Ortony et al., 1990) es un modelo de emociones que proporciona una estructura de las condiciones que provocan emociones y las variables que afectan sus intensidades.

Según (Durães, 2018) traducido del inglés: [El modelo OCC ha sido reconocido como el modelo estándar para la síntesis de emociones y, a menudo, se utiliza para modelar los estados emocionales de los usuarios]. El modelo especifica veintidós categorías emocionales basadas en las reacciones de un sujeto a un evento, las reacciones del sujeto a una acción de un agente responsable y las reacciones del sujeto que se acerca a un objeto atractivo o poco atractivo (Ver Figura 2.6).

Basado en la teoría cognitiva de las emociones, el Modelo OCC considera que la emoción surge de una evaluación cognitiva, denominada “valoración”, generada por una persona y basada en los tres aspectos del mundo: eventos, agentes y objetos. Los eventos son el sentido, los hechos por los que las personas perciben lo que sucede a su alrededor y su percepción del mundo frente a las consecuencias. Estas emociones dependen del interés de un evento no confirmado o confirmado que produce emociones como alegría, angustia, esperanza, miedo, satisfacción, decepción, alivio, miedos confirmados, felices, resentimiento, regodeo y piedad.

Los agentes pueden ser personas, animales o, en algunos casos, otros objetos u objetos abstractos como instituciones. Estas emociones dependen del valor de la acción del agente como resultado de un patrón afectado. El conjunto de emociones incluye orgullo, vergüenza, admiración y reproche. Y finalmente, los objetos, que son percibidos por las personas como objetos, presentes en el mundo, ejerciendo una atracción, generando un sentimiento positivo o negativo. Estas emociones dependen del interés de un objeto que produce emociones como el amor o el odio.

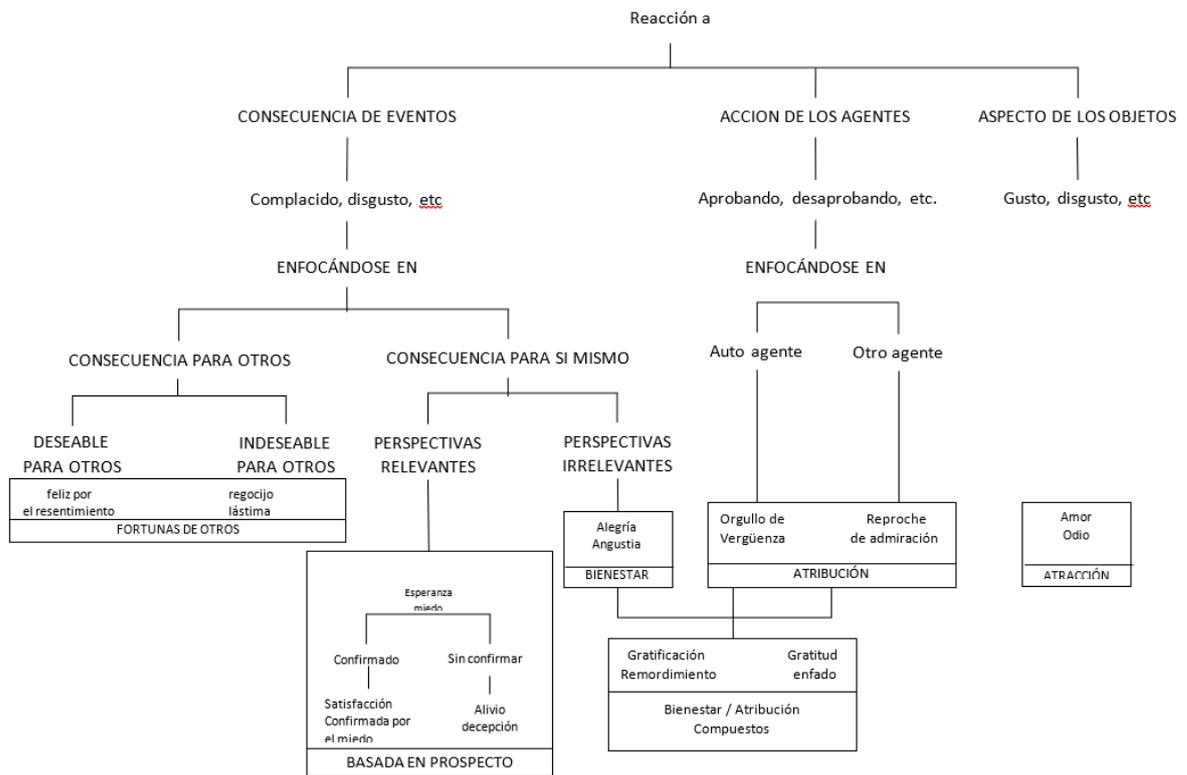


Figura 2.6 Modelo OCC (Ortony et al., 1990)

## 2.2.2. Reconocimiento de Emociones

Para reconocer las emociones, uno de los propósitos de la CA es obtener esa información a través del cuerpo humano. Primero, la CA debe poder reconocer los aspectos físicos del cuerpo humano, como la expresión facial, la entonación de la voz y los gestos o movimientos. La CA también tiene como objetivo reconocer aspectos fisiológicos como la respiración, el color de la piel, la temperatura, la frecuencia cardíaca, la presión arterial y la dilatación pupilar.

### 2.2.2.1. Emociones Faciales

Uno de los sistemas de reconocimiento de emociones de los que resultan bastante invasivos es el que se basa en la detección y análisis de la expresión facial de la persona. La expresión facial es el movimiento o cambio de posición de uno o varios músculos que se encuentran bajo la piel de la cara. Constituyéndose así una forma no verbal de comunicarse y son un medio primordial para enviar mensajes sociales entre personas (Bhardwaj & Dixit, 2016).

Es importante recalcar que los sistemas de reconocimiento facial se basan en dos fases: extracción de características físicas y clasificación (Murtaza et al., 2013). La extracción de características se refiere a definir un conjunto de características o atributos que representen una

emoción, y la clasificación es asociar esas características identificadas a una única emoción de un grupo: como alegría, enfado, sorpresa, etc.

Las expresiones faciales se definen como deformaciones temporales de las características faciales: cejas, párpados, nariz, labios y textura de la piel a causa de la contracción de los músculos faciales (Fasel & Luetin, 2003). Las zonas de la cara consideradas más importantes para la detección de emociones son los ojos y los labios. Las expresiones faciales asociadas son generalmente descritas por un conjunto de Acciones Unitarias (AUs). En la Tabla 2.1 se observa las AUs que propone (Gunes & Piccardi, 2007) para determinadas emociones.

Tabla 2.1 Emociones y gestos faciales asociados a ellas (Gunes & Piccardi, 2007)

Emoción	Expresión facial
Neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin expresión</li> </ul>
Enfado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cejas bajas y juntas</li> <li>• Aparecen líneas entre las cejas</li> <li>• Labio inferior tenso o levantado</li> <li>• Labio superior tenso y bajo por la acción de las cejas</li> <li>• Labios juntos y extremos rectos o hacia abajo</li> </ul>
Sorpresa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cejas levantadas</li> <li>• Piel bajo las cejas estirada</li> <li>• Surcos horizontales en la frente</li> <li>• Párpados abiertos</li> <li>• Mandíbula abierta o boca estirada</li> </ul>
Miedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cejas levantadas y juntas</li> <li>• Arrugas en la zona central de la frente</li> <li>• Párpados superiores abiertos y párpados inferiores levantados</li> <li>• Boca abierta</li> <li>• Labios ligeramente abiertos o estirados hacia atrás</li> </ul>
Alegría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extremos de la boca estirados hacia arriba</li> <li>• Mejillas levantadas, boca entreabierta y posible exposición de dientes</li> <li>• Pequeñas arrugas bajo los párpados inferiores</li> <li>• Surcos en los extremos exteriores de los ojos</li> </ul>
Asco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Labio superior levantado</li> <li>• Labio inferior levantado y presionando el labio superior o ligeramente abierto</li> <li>• Nariz arrugada</li> <li>• Mejillas levantadas</li> <li>• Cejas bajas</li> </ul>
Tristeza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extremos internos de las cejas levantadas</li> <li>• Extremo interno del párpado superior levantado</li> <li>• Extremos de los labios estirados hacia abajo</li> </ul>
Aburrimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ojos entrecerrados</li> <li>• Lamer labios</li> <li>• Movimiento de ojos en todas direcciones</li> </ul>

#### 2.2.2.2. Detección audiovisual de emociones

En referencia a este tipo de reconocimiento, el cual combina imagen y sonido, no existen demasiados estudios, ya que la gran mayoría se centran en el reconocimiento visual únicamente. Es importante indicar que la fusión de datos visuales con los auditivos traería grandes beneficios al análisis de las emociones, pero tampoco es menos cierto que los investigadores aun no tienen claro cómo conseguir la mejora en un detector automático de emociones a través de este medio.

Lo primero que resulta complejo es hacer un análisis simultáneo de ambas entradas, por lo que los investigadores analizan por separado, y así utilizar ambas salidas en la toma de decisiones

(Ringeval et al., 2014). Además, no está claro si los datos tanto de audio como video deban fusionarse desde el principio o podrían combinarse esta información previo a un análisis preliminar (C.-H. Wu et al., 2014).

Una de las principales razones para que este de investigaciones recién se los estén explorando, es debido a que los estudios tanto facial como vocal de las emociones se realizan por separado.

#### 2.2.2.3. Seguimiento Ocular

Este proceso realiza la medición del movimiento del ojo en relación con la posición de la cabeza o el punto de búsqueda (es decir, lo que se está mirando). Este tipo de registro es muy utilizado en la neurociencia, la psicología, la informática, la ingeniería industrial y el marketing.

La emoción se calcula a través del seguimiento ocular y un programa estadístico, el cual establece el nivel de excitación cuando se presenta una imagen visual. Este análisis de cuantificaciones incluye el obtener el tamaño de la pupila, las propiedades de parpadeo y de la mirada. El tamaño de la pupila está relacionado con una reacción emocional, indicado mediante una variación en el tamaño de la misma cuando la persona se enfrenta a un estímulo que puede ser positivo o negativo (Partala & Surakka, 2003).

#### 2.2.2.4. Lenguaje Corporal

El reconocimiento de las emociones a través de analizar el lenguaje corporal en cuanto a su postura parece ser un área algo descuidada por la CA, dándole más importancia a la expresión facial (Calvo et al., 2010).

Uno los primeros sistemas creados para analizar las posturas automáticamente fue Tekscan's Body Posture Measurement System (BPMS). Este sistema constaba de dos sensores de presión montados en la silla. A partir de esos sensores se extrapolan las posturas de las personas en tiempo real. Además, reconoce posturas relacionadas con estados afectivos vinculados al nivel de interés de la persona mientras realiza una tarea de aprendizaje en un ordenador. El sistema cuenta con una red neuronal para clasificar las posturas con una precisión del 87,6%.

#### 2.2.2.5. Reconocimiento del discurso emocional

El aspecto vocal en la comunicación también lleva información sobre el contenido emocional en el lenguaje de una persona. Así, el reconocimiento del habla consiste en la capacidad de un computador o programa en tratar de identificar palabras o frases del lenguaje hablado. El reconocimiento de la voz comprende dos partes: un mensaje explícito, que consta de lo dicho; y una expresión emocional implícita, que involucra cómo se dijo el mensaje.

Una de las principales aplicaciones del reconocimiento de voz reside en la tecnología asistida para ayudar a las personas con discapacidad. El programa Speech Emotion Recognition (SER) tiene como objetivo reconocer el estado emocional del usuario en su señal de voz (S. Wu et al., 2011).

La principal conclusión de SER se basa en la posibilidad de reconocer la emoción de un discurso. Si bien existe cierta dificultad para reconocer ciertos tipos de emociones como el disgusto, hay otras que se pueden reconocer con mayor precisión como la tristeza y el miedo. Además, el tono de un discurso parece estar relacionado con el nivel de excitación. Sin embargo, el descubrimiento de afectos en el habla tiene tasas de precisión más bajas que una expresión facial para reconocer expresiones básicas.

#### 2.2.2.6. Detección de Emociones en texto

La detección de emociones en un texto escrito consiste en determinar el contexto emocional o de actitud dentro del lenguaje escrito o transcripciones de la comunicación oral. Hay tres enfoques de detección de emociones en el texto:

1. El primer enfoque tiene como objetivo comprender cómo el texto podía expresar una emoción o cómo el texto podía generar diferentes emociones. Estos estudios comenzaron por encontrar una similitud en cómo se comunican las personas de diferentes culturas (Osgood et al., 1975). Estos investigadores utilizaron un procedimiento de Escala Multidimensional (MDS) para crear modelos de palabras afectivas basados en evaluaciones de palabras proporcionadas por diversas culturas. Las dimensiones consideradas en estos estudios fueron: evaluación, potencia y actividad. La evaluación se refiere a la cuantificación de una palabra en relación con un evento que plasma y si ese evento es agradable o desagradable. La potencia se refiere a cómo se relaciona la palabra con un nivel de intensidad, palabras fuertes en

oposición a palabras débiles. Actividad se refiere a una palabra como activa o pasiva (Calvo et al., 2010).

2. El segundo enfoque incluye un análisis léxico del texto, como resultado se puede inferir el estado afectivo. La mayoría de estos estudios utilizan Linguistic Inquiry and Word Count (LIWC) (Consulta lingüística y recuento de palabras) (Pennebaker et al., 2007), que es un software de análisis de texto que determina si el texto tiene emociones positivas o negativas, autorreferencias o palabras causales en más de 70 dimensiones del lenguaje.
3. El tercer enfoque acepta que las personas que comparten el mismo idioma tienen elementos semejantes para diferentes emociones. Con base a esto, se construyó una base de datos léxica que contiene términos emocionales.

Las Normas Afectivas para palabras en inglés (Affective Norms for English Words, ANEW) se han desarrollado para proporcionar un conjunto de calificaciones emocionales que norman una gran cantidad de palabras en el idioma inglés, (Bradley & Lang, 1999) se elaboró para ofrecer este conjunto de calificaciones, el objetivo es construir una serie de materiales verbales que fueron calificados en términos de placer, excitación y dominio. ANEW complementa el International Affective Picture System (IAPS) (Sistema internacional de imágenes afectivas) (Lang et al., 1997) y el International Affective Digitized Sounds (IADS) (Sonidos digitalizados afectivos), que son compilaciones de fotografías y estímulos sonoros, respectivamente, que también contienen calificaciones afectivas.

Pang y Lee (Pang & Lee, 2006) revisaron el concepto del análisis de sentimientos y opiniones, referido a la aplicación del procesamiento del lenguaje natural, la lingüística computacional y el análisis de textos para reconocer información subjetiva, como la emoción, en el texto.

#### 2.2.2.7. Sistema de detección de estrés

Actualmente, una de las principales motivaciones que existen para desarrollar los sistemas de detección de emociones es la detección de mentiras. El estrés emocional es una reacción que va fuertemente ligada a la mentira, y que se manifiesta por medio de cambios fisiológicos en la persona, tales como el aumento de pulsaciones, sudor y cambios en la respiración.

Uno de los elementos más utilizados para este fin es el polígrafo, cuyo funcionamiento está basado en detectar estos cambios fisiológicos. Sin embargo, para poder detectarlos es completamente necesario colocarle sensores a la persona, y esto al ser invasivo, aumenta el estrés en la propia persona y por ende afecta al resultado final, no siendo un resultado válido en muchos dominios, como por ejemplo en juicios legales (De Morales Ibáñez & Alzina, 2006).

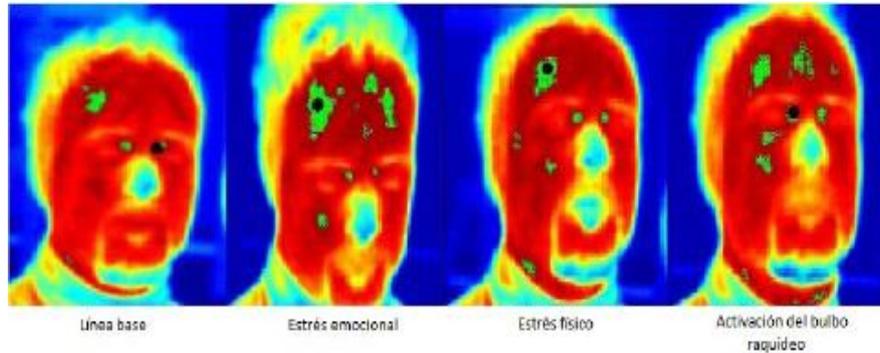


Figura 2.7 Diferencias entre patrones termales según el tipo de estrés (Lozano Monasor, 2020)

Por otro lado, trabajos como los de (Yuen et al., 2009) y (Tsiamyrtzis et al., 2007) utilizan técnicas de imágenes termales. Para esto se necesitan cámaras especiales que sean capaces de tomar la temperatura y representarla mediante una gama de colores. En el ejemplo de la Figura 2.7 se puede apreciar que los cambios fisiológicos que originan el estrés emocional son definidos por patrones de temperatura en la frente y la zona peri orbital, los cuales son muy diferentes a cualquier otro tipo generado por el estrés. Al observar las imágenes vemos patrones resaltados en color verde que indican una mayor temperatura y en negro el punto más caliente. Se puede apreciar que el estrés emocional produce una mayor cantidad de puntos calientes en la zona frontal que el estrés físico o la actividad del bulbo raquídeo, mientras que estos últimos (estrés físico y la actividad del bulbo raquídeo) muestran patrones de temperatura en la zona periorbital (Lozano Monasor, 2020)(Southgate et al., 2019)

Mediante este método se pueden obtener excelentes resultados. En el caso de la investigación de (Tsiamyrtzis et al., 2007) se realizó un experimento en que las personas elegían libremente si mentían o no y la tasa de aciertos del sistema fue de 87.2%.

#### 2.2.2.8. Otros reconocimientos de emociones

Hay algunos otros enfoques para obtener el reconocimiento de emociones como la fisiología (Wioleta, 2013), técnicas de imágenes cerebrales (Bhise et al., 2020) y reconocimiento multimodal de emociones (Sebe et al., 2005).

Con el enfoque de la fisiología, el reconocimiento del afecto se produce mediante la identificación de patrones en la actividad fisiológica. Este enfoque se inspiró en áreas como la psicología y la psicofisiología y trata de comprender qué patrones fisiológicos están detrás de ellos y cuáles son las implicaciones en el comportamiento. Para monitorear estos patrones fisiológicos se registra la actividad eléctrica producida por el cerebro, corazón, ojos, piel y músculos. Los métodos de registro incluyen: electroencefalografía (EEG), que mide la actividad cerebral; Electrocardiograma (ECG), que mide la actividad cardíaca; Electrooculograma (EOG), que mide el movimiento de los ojos; Actividad electrodérmica (EDA), que mide la conductividad eléctrica de la superficie de la piel; y Electromiogramas (EMG), que mide la actividad de los músculos (Calvo et al., 2010).

El enfoque de las técnicas de imagen cerebral se utiliza en los campos de la neurociencia afectiva, que intenta mapear los circuitos neuronales que se producen durante una experiencia emocional. En este enfoque, las técnicas utilizadas por los neurocientíficos incluyen fMRI (functional magnetic resonance imaging, imagen por resonancia magnética funcional) y EEG, entre otras. fMRI (Este examen sirve para observar la actividad del cerebro, midiendo la cantidad de sangre que fluye a las distintas partes del mismo) se basa en la tecnología MRI y es una prueba no invasiva que utiliza un fuerte campo magnético y ondas de radio para crear imágenes corporales detalladas. Por lo tanto, la fMRI monitorea el flujo sanguíneo en el cerebro para detectar áreas de actividad y proporciona un mapa de qué partes del cerebro están activas durante una emoción o sentimiento. Por otro lado, la técnica de EEG registra la actividad eléctrica espontánea del cerebro a través del mapeo. Debido a la ausencia de un modelo neuronal emocional, este método es limitado y con frecuencia se apoya en otras técnicas como la fMRI. Una de las medidas que se toman con EEG es el potencial relacionado con eventos (ERP). ERP es una respuesta cerebral medida que es directamente el resultado de un pensamiento o una percepción. Básicamente, mide cualquier respuesta electrofisiológica a un estímulo interno o externo.

Finalmente, el enfoque multimodal de reconocimiento de emociones hace referencia a que la respuesta emocional tiene múltiples manifestaciones tanto físicas como conductuales. Este enfoque se basa en las técnicas de Interacción Humano-Computadora Multimodal (MHCI). MHCI se basa en varias áreas de investigación, como visión por computadora, inteligencia artificial, psicología y otras. El estudio de MHCI implica el conocimiento de tres variables: usuario, sistema y la interacción entre ellas. Esta técnica quiere interactuar con: interacción visual (expresión facial,

postura de la cabeza, gesto, movimiento corporal y posturas), auditiva (tono, volumen, frecuencia del habla), táctil (frecuencia cardíaca, conductividad de la piel) y señales cerebrales (EEG).

### **2.2.3. Estados Afectivos**

Según algunos autores, las emociones tienen dos componentes: el mental (cognitivo) y el físico (cuerpo). Esta afirmación viene determinada en el libro *Textbook of Human Physiology for Dental Students* por Khurana (Khurana, 2014). Por otra parte, Shaver, Schwartz, Kirson y O'Connor (Shaver et al., 1987) encasilla a las emociones en tres categorías: primarias, secundarias y terciarias. Las primarias son las que suceden como respuesta a algún tipo de evento, que puede ocasionar emociones como el miedo, placer, amor, tristeza, sorpresa, ira. De estas emociones primarias se desprenden las otras dos. Estas relaciones se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 2.2 Emociones (Shaver et al., 1987)

Emociones Primarias	Emociones Secundarias	Emociones Terciarias
Miedo	Nerviosismo	Ansiedad, aprensión, angustia, pavor, tensión, malestar, preocupación
	Horror	Alarma, susto, histeria, mortificación, pánico, conmoción, terror
Placer	Alegría	Diversión, éxtasis, animado, euforia, bienaventurado, júbilo, deleite, felicidad, júbilo
	Ánimo	Entusiasmo, emoción, regocijo, alegría, alivio, optimismo, orgullo, fascinación
Amor	Afecto	Cariño, Atracción, Adoración, Sentimentalismo
	Pérdida	Excitación, deseo, pasión, enamoramiento, obsesión
	Nostalgia	Ansia
Tristeza	Sufrimiento	Agonía, dolor, angustia
	Decepción	Consternación y disgusto
	Vergüenza	Culpabilidad, remordimiento y arrepentimiento
	Negligencia	Inseguridad, alienación, nostalgia, vergüenza, humillación
	Tristeza	Depresión, infelicidad, miseria, melancolía, tristeza, desesperación
	Solidaridad	Lástima, compasión
Sorpresa	Asombro	Espanto, estupor
Ira	Rabia	Furia, cólera, amargura, resentimiento, odio, frustración y exasperación
	Irritación	Agitación, agravación, mal humor
	Disgusto	Repulsión, desprecio, celos y tormento
	Exasperación	Frustración
	Envidia	Envidia, celos
	Tormento	Tormento

Independientemente de las emociones descritas en la Tabla 2.2, las emociones provocan afectos, que es la sensación experimentada y descrita en la subsección 2.2.1.

### 2.3. Ambiente Inteligente

Uno de los principales objetivos de la inteligencia ambiental es proporcionar información relevante, en la forma correcta, en el momento correcto y en el lugar correcto siempre que sea necesario. Si los objetos y dispositivos pueden reconocer a un usuario en particular y conocer su ubicación y entorno, entonces aumenta el potencial para entregar la información apropiada justo a tiempo. Los sistemas de aprendizaje podrían adaptar sus resultados en función de una serie de

características únicas. Esta es la clave para los sistemas de información personalizados que permanecen invisibles hasta que se necesitan.

### **2.3.1. Definición**

Se han utilizado varios términos diferentes en referencia a entornos que apoyan de manera inteligente a las personas en su vida cotidiana. Varios autores han utilizado estos términos sin considerar algunos detalles sutiles que marcan una diferencia significativa:

*Ambiente inteligente* este término introducido por Weiser (Weiser, 1991) fue la primera noción en referirse a la posibilidad de incrustar dispositivos en el entorno, con capacidades de detección y computación.

*Computación ubicua* la cual está directamente relacionada con la noción de computadora que desaparece (Weiser, 1993), o computación omnipresente (Saha & Mukherjee, 2003) como la llamó IBM más tarde. Estos dos términos se refieren especialmente a entornos en los que la tecnología, es decir, los computadores integrados, está muy extendida por todo el entorno. Sin embargo, los sistemas ubicuo/ omnipresente enfatizan la presencia física y la disponibilidad de recursos, pero omiten un elemento clave importante: el requisito explícito de inteligencia (J. C. Augusto & Cook, 2007).

### **2.3.2. Caracterización**

La inteligencia es necesaria para lograr un entorno real que apoye de manera efectiva a las personas en su vida diaria. Así, han sugerido nuevos términos que apuntan a extender la idea de computación ubicua un paso más allá. En este sentido, la inteligencia ambiente (AmI) es uno de los términos más reconocidos para sugerir un enfoque multidisciplinario que cubre muchas áreas de investigación con el fin de lograr los llamados entornos inteligentes. La inteligencia ambiente es principalmente un término utilizado en Europa; en EE.UU. y Canadá se utilizan los términos entornos inteligentes o ambientes inteligentes (Ver Figura 2.8).

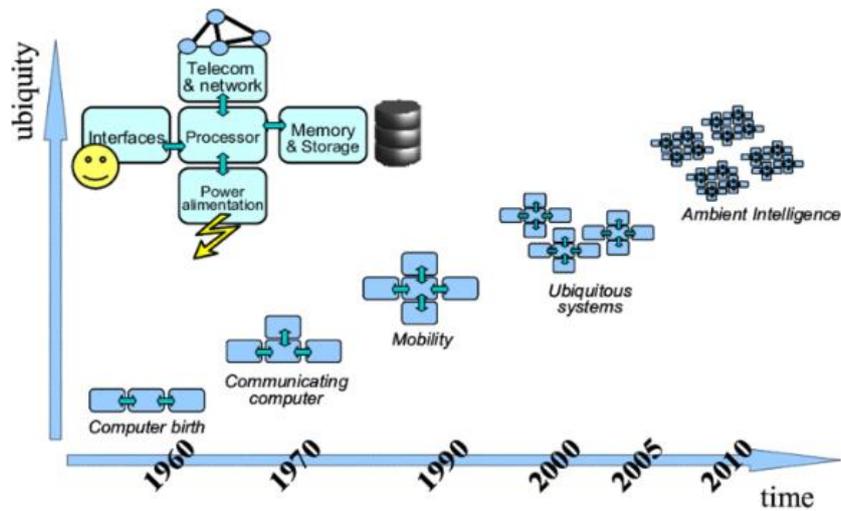


Figura 2.8 Evolución del Ambiente Inteligente (Waldner, 2007)

La inteligencia ambiente ha cambiado la forma en que se ven las computadoras (ver Figura 2.8), esto ha cambia la forma de como se ha visto la interacción Computador Usuario, ya que ahora las computadoras comienen a funcionar para los usuarios, en lugar de que los usuarios trabajen con ellos. Los ordenadores, en entornos inteligentes, ya no son meras herramientas, sino que aprenden qué les gusta a los usuarios, qué hacen, sus hábitos y sus preferencias para simplificar su día a día. Se incluyen en dispositivos comunes para que no se noten.

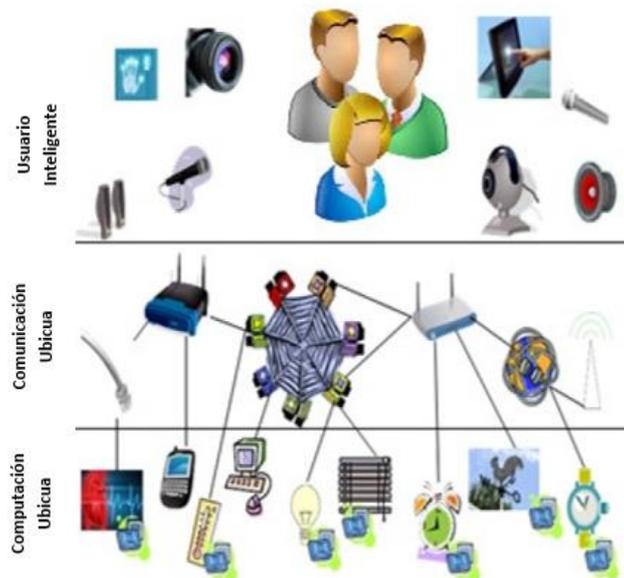


Figura 2.9 Las capas principales de inteligencia ambiental (Silva, 2014)

En pocas palabras, Aml se puede definir como “Un entorno digital que, de manera proactiva, pero sensata, apoya a las personas en su vida diaria” (Gal et al., 2001) (J. Augusto & Mccullagh, 2007). La sensibilidad proviene de la inteligencia, al igual que en la vida real: una enfermera capacitada que puede identificar los síntomas puede brindar una mejor atención de manera

proactiva. Si la enfermera conoce al usuario y sus preferencias o necesidades, puede ser sensible con el usuario. Para que Aml muestre estas características, hace uso de varios campos de la informática, siendo los más notorios: inteligencia artificial, interacción humano-ordenador, sensores, redes y computación ubicua (Ver Figura 2.10).

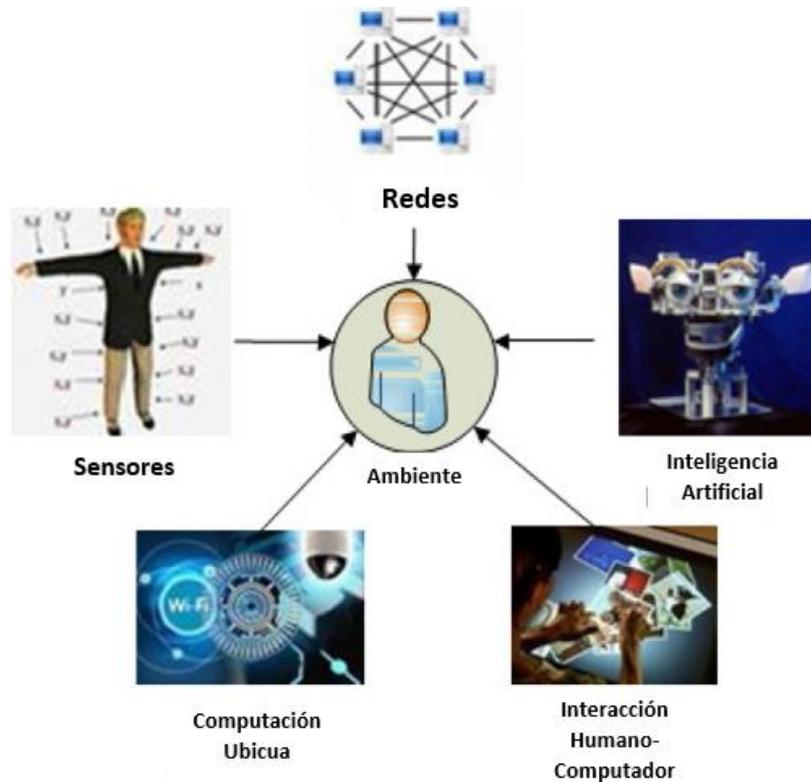


Figura 2.10 Las principales áreas de la informática detrás de Aml (Silva, 2014)

### 2.3.3. Campos de aplicación de Aml

La inteligencia ambiental se logra a través de artefactos Aml (objetos inteligentes, dispositivos inteligentes) que es un elemento de un entorno Aml que tiene las siguientes propiedades y capacidades (Kameas et al., 2004):

- Procesamiento de información;
- Interacción con el medio ambiente;
- Autonomía;
- Colaboración;
- Capacidad de redacción;
- Cambiabilidad.

Esto trae consigo la definición de nuevas arquitecturas de software y adecuado, tales como:

- Sistemas de archivos 'invisibles', que sin conocer nombres, ubicaciones y formatos de archivos específicos permiten al usuario acceder a los datos bajo el principio de "producir uno, presente en cualquier lugar";
- Mecanismos de instalación automática y migración de programas de un equipo a otro con capacidad de autogestión y autoajuste, pero sin requerir cambios fundamentales en las configuraciones.

Algunos buenos ejemplos de aplicaciones de Aml son los hogares inteligentes, simulaciones, salud, transportación, educación.

*En el campo de la educación* (Cook et al., 2009), los estudiantes no solo aprenden sobre tecnologías como la inteligencia ambiental en el aula, sino que Aml también puede ayudar a mejorar la experiencia de aprendizaje de estos estudiantes. Las instituciones relacionadas con la educación pueden usar la tecnología para rastrear la progresión de los estudiantes en sus tareas y la frecuencia de su asistencia a eventos clave. El proyecto Georgia Tech Classroom 2000 (Abowd, 1999) es un ejemplo que proporciona interfaces hombre-computadora a través de dispositivos como una pizarra interactiva que almacena contenido en una base de datos. El aula inteligente de Shen et al. (Shen et al., 2005), también utiliza una pizarra interactiva y permite a los profesores escribir notas directamente en la pizarra con un bolígrafo digital. Esta experiencia en el aula se ve reforzada por videos y micrófonos que reconocen un conjunto de gestos, movimientos y habla que se pueden usar para recuperar información o enfocar la atención en pantallas y material apropiados.

#### **2.4. Síntesis**

En este capítulo se realizó un estudio sobre e-learning y la noción de entornos inteligentes en el contexto del e-learning. Se han identificado las muchas limitaciones que tienen las plataformas de e-learning, a saber, las relacionadas con la personalización y supervisión.

La CA se basa en el reconocimiento de emociones del usuario a partir de la información detectada por múltiples sensores. A través de ellos, la CA se encarga de percibir, reconocer y comprender las emociones humanas y proporcionar una mejor retroalimentación. El reconocimiento de emociones está fundamentado en varios campos tales como la psicología, visión artificial, aprendizaje automático y lingüística, entre otras más.

Finalmente, la aplicación de los Aml se encuentra prácticamente en todas las áreas del conocimiento, pero justamente para una verdadera aplicación den ser en sistemas de Tutoría Inteligente.

# 3

---

## 3. Sistemas de Tutorías Inteligentes

---

Según (Durães et al., 2019), la rápida evolución de la sociedad es notable, lo que justamente permite la producción constante de nuevos conocimientos. Es así que los estudiantes se ven constantemente presionados para poder obtener buenas calificaciones. La necesidad de tener personas cualificadas ha ido creciendo, lo que significa que los recursos para la educación/formación han sido utilizados de manera más eficiente.

Con la evolución de la informática, ha sido posible la introducción de los sistemas los sistemas de e-learning en el campo de la educación (Kegel & Bus, 2012). Sin embargo, la mayoría de estos sistemas solo podían gestionar y compartir documentación entre tutores y estudiantes. Posteriormente surgieron los STI, que han sido objeto de estudio por investigadores de IA. Se han aplicado varias teorías para verificar y establecer su efectividad (Silva, 2014).

En las últimas décadas, los STI se han incrementado rápidamente. En el entorno de e-learning ha existido un crecimiento exponencial en estos ambientes de desarrollo tecnológico y el número de usuarios a los que se dirige. Como resultado, un STI debería captar la atención del usuario con el fin de mejorar los resultados cuando se enfoca en tareas de e-learning. Uno de los principales objetivos es proveer los beneficios de la tutoría individual de manera automática, reduciendo los costos asociados a estos, tomando como guía para esto la naturaleza multidisciplinaria de los STI.

Es importante señalar que el proceso de enseñanza-aprendizaje requiere una interacción entre los diferentes actores involucrados: el tutor, el estudiante, las normas y el entorno o interfaz de aprendizaje. Hoy en día, las computadoras se utilizan como herramientas de trabajo importantes en muchos lugares, donde pretendemos utilizar métodos no invasivos de orientación inteligente a través de la observación de la interacción del usuario con la computadora (Ver Figura 3.1).

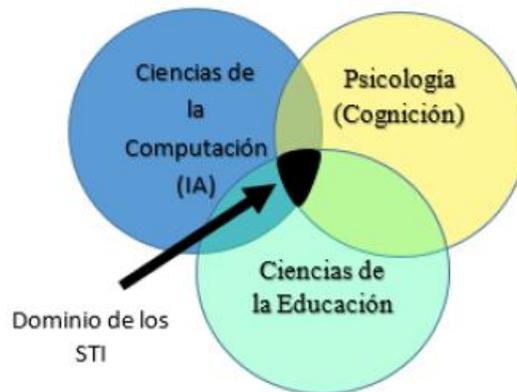


Figura 3.1 Naturaleza Multidisciplinaria de los STI (Silva, 2014)

Actualmente, uno de los principales problemas relacionados con el aprendizaje es el nivel de atención que el estudiante dedica en la ejecución de las tareas propuestas. El nivel de atención que cada usuario dedica a una determinada tarea se ve cada vez más afectado por la evolución del uso de Internet y las redes sociales.

Los resultados muestran que aún existen mecanismos que se pueden explorar y mejorar para comprender mejor la compleja relación entre el comportamiento humano, la atención y la evaluación que podrían utilizarse para implementar mejores estrategias de aprendizaje. Estos resultados pueden ser decisivos para mejorar el STI; en entornos de e-learning y predecir el comportamiento de los usuarios en función de su interacción con dispositivos tecnológicos (Durães et al., 2019).

### 3.1. ¿Qué son los STI?

Los STI simulan la tutoría humana uno a uno (Luckin et al., 2016). La tutoría humana se considera en general un tipo de instrucción muy eficaz (VanLehn, 2011). Se supone que los tutores humanos poseen un conocimiento amplio y profundo sobre el dominio del contenido y estrategias de tutoría sofisticadas como los diálogos socráticos. Más importante todavía, los tutores humanos diagnostican de manera eficaz y con precisión la motivación y el conocimiento de sus estudiantes y por ende pueden personalizar las actividades y tareas de aprendizaje, que son justamente seleccionadas para satisfacer las necesidades de sus estudiantes. En todo este proceso, los tutores pueden realizar los ajustes necesarios para ayudarlos con cada paso de resolución de problemas.

La investigación realizada por (Southgate et al., 2019) demuestra que los estudiantes no aprovechan al máximo a sus tutores, ya que rara vez hacen preguntas, y está comprobado el tutor humano no es perfecto. Y justamente estas preguntas que deberían realizar los estudiantes a sus

tutores (muchas veces no las hacen por temor a ser juzgados), son para diagnosticar conceptos erróneos o más aún personalizar las tareas de aprendizaje (VanLehn, 2011).

Uno de los principales objetivos es proveer los beneficios de la tutoría individual de manera automática, reduciendo los costos asociados a estos, tomando como guía para esto la naturaleza multidisciplinaria de los STI.

Cuando el alumno tiene un limitado conocimiento del dominio que se está estudiando, estas inferencias no se generan automáticamente. El papel del tutor que orienta la enseñanza es utilizar los métodos más apropiado, de tal manera que permita al estudiante construir estas inferencias. Estos métodos / tácticas pueden también organizarse con el objetivo de mejorar los aspectos que contribuyan a la efectividad de las instrucciones, incluyendo la motivación, su atención y compromiso entre otros.

Para que el tutor humano logre un buen rendimiento en sus tutorados, este necesita tener experticia en el campo de la educación y en áreas tales como la pedagogía y la comunicación. La escasez de tutores humanos que cumplan con todos estos requerimientos le abre las puertas a los STI, cuyo rendimiento se acerca a los realizados por los tutores humanos, o en otras palabras, que el desempeño se acerque al tutor ideal (Cohen et al., 1982).

Es importante recalcar que aún en la actualidad, aunque el uso de los sistemas e-learning se ha expandido, los STI son muy pocos utilizados debido a la dificultad de su desarrollo. Es por esto que se han desarrollado herramientas que ayuden a la creación de los STI, pero con muchas limitaciones, ya que están desarrollados de una manera global, sin tener en cuenta las realidades de cada sociedad (Guillen et al., 2017).

### **3.1.1. Arquitectura de los STI**

Los STI dentro de un Ambiente Inteligente se encargan de proveer enseñanza en forma personalizada a cada estudiante. Según (Clancey & Soloway, 1990) sugieren cuatro módulos para un STI (Ver Figura 3.2):

- *Modelo del estudiante*: Su función es capturar la comprensión del dominio por parte del aprendiz (estado cognitivo), y el entorno que se pretende cambiar.
- *Modelo experto*: Representa el conocimiento del experto, se encuentran los temas de la materia, así como las características de resolución de problemas asociados

- *Modelo Tutor.* Aquí se encuentran las estrategias pedagógicas e instrucciones indispensables de enseñanza, se ajusta a las necesidades del estudiante sin la intervención del tutor humano, tiene como objetivo reducir la diferencia del conocimiento entre el experto y el estudiante al mínimo (o ninguno).
- *La Interfaz.* es el que realiza la interacción con los otros componentes del sistema, controla las entradas/salidas, en otras palabras, es la que realiza la comunicación entre el sistema y el estudiante.

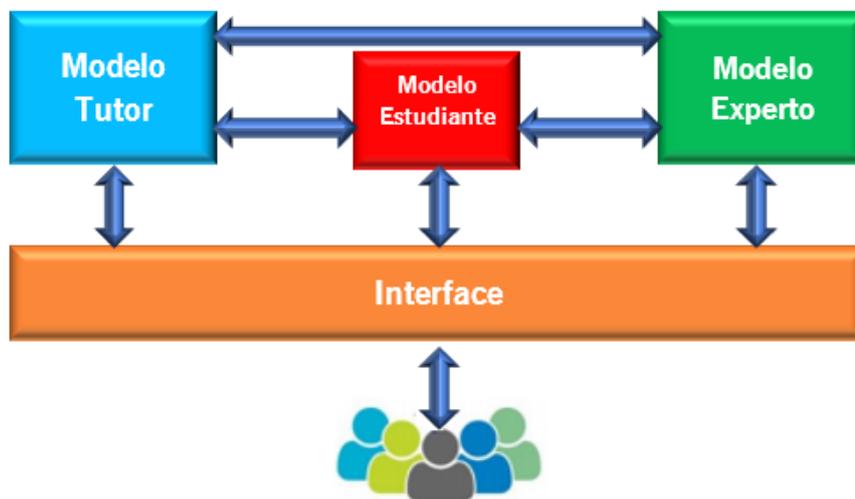


Figura 3.2 Arquitectura de un Sistema de Tutoría Inteligente (Adaptado de (Silva Rodrigues, 2014))

Si se observa con más detalle de que consta cada modelo, podemos observar que el Modelo Tutor consta de un gestor pedagógico, un organizador de lecciones que planifica los contenidos de la misma y el analizador de las características del estudiante (perfil). Con este perfil se selecciona las estrategias pedagógicas más adecuada (ver Figura 3.3)

En el modelo Estudiante encontramos el estilo de aprendizaje característico de cada estudiante, su comportamiento, sus estrategias de aprendizaje, su evolución, el estado de conocimiento donde se encuentra su estado inicial del mismo, y que se va actualizando de acuerdo a su progreso, y el perfil psico-sociológico usando la teoría de las inteligencias múltiples de Gardner (Gardner, 2001). Este autor indica que no hay una única inteligencia en el ser humano, sino una diversidad en función de sus fortalezas y debilidades.

El modelo Experto (Dominio) está conformado por los parámetros básicos del sistema, conocimientos (contenidos), y elementos didácticos (imágenes, sonidos, videos) formado por material multimedia.

La interfaz se comunica directamente con el usuario y con todos los modelos (experto, estudiante y tutor).

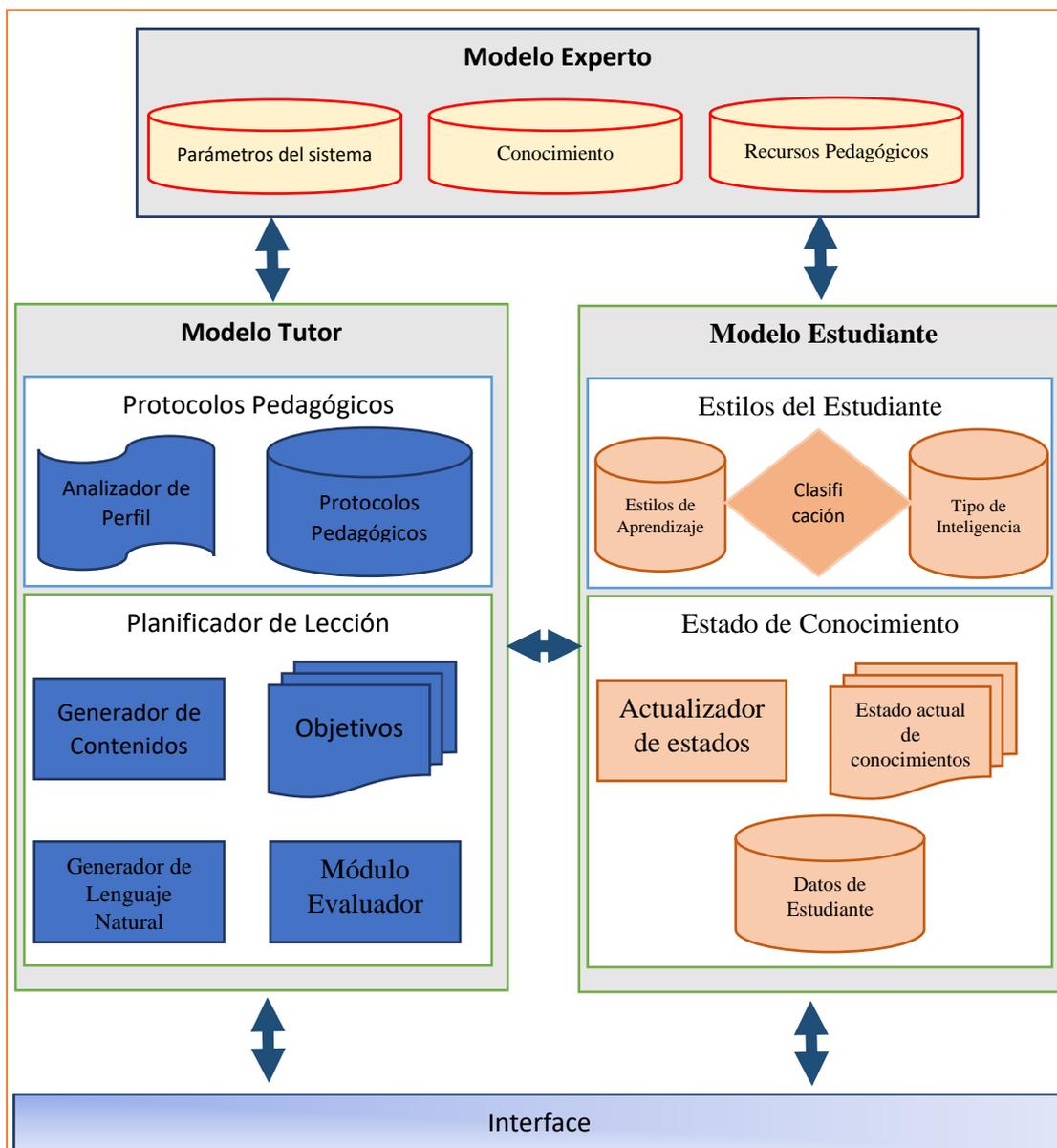


Figura 3.3 Módulos Principales de un STI (Cataldi & Lage, 2009)

### 3.1.2. Evolución de los Tutores Inteligentes

Los primeros sistemas de enseñanzas aparecieron con los llamados sistemas CAI (Enseñanza asistida por computador), cuyas características principales fueron (Urretavizcaya

Loinaz, 2001): los cursos eran muy extensos, no existía una fluida comunicación Tutor-Alumno, no se veían modificaciones de adaptabilidad, ni el tiempo ni en el espacio, y era prácticamente un mismo sistema sin importar las características del estudiante.

La evolución de los CAIs (ver Figura 3.4) empieza en los años 50, donde aparecen los primeros sistemas de enseñanza, los cuales tenían como nombre Programas Lineales. Su característica principal era el de presentar el conocimiento de una manera lineal, por lo que no se podía cambiara el orden de enseñanza previamente establecido. Esto se basó en la teoría conductista, defendida por B. F. Skinner (1950), la cual decía que las personas funcionaban por estímulos. Esto indicaba que a igual estímulo corresponde la misma respuesta, por lo tanto, no se debía permitir cometer errores a los estudiantes, ya que esto conduciría a dar un refuerzo negativo. Como resultado, en este modelo no se tomaba en cuenta la aptitud del estudiante.

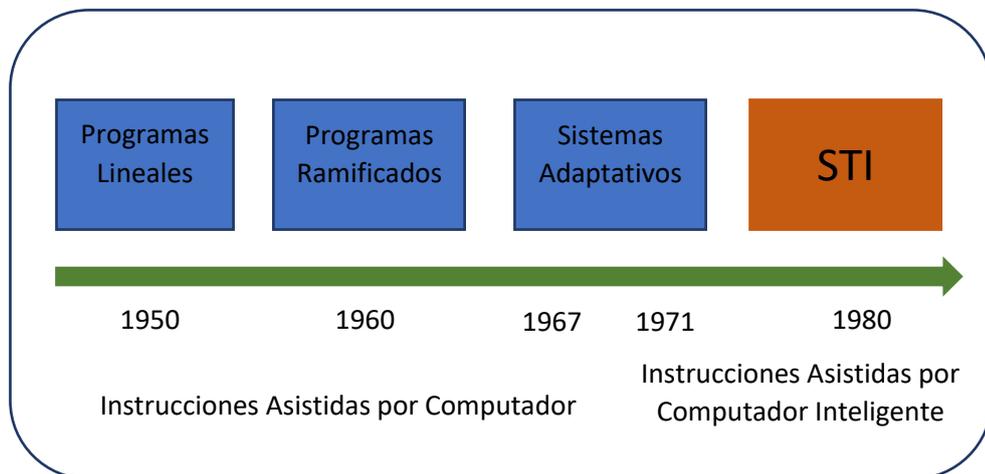


Figura 3.4 Evolución de los STI (Adaptado de (Molina et al., 2015))

Norman Crowder (Crowder, 1962) diseñó los programas ramificados. Estos también tenían un número fijo de temas, pero, a diferencia de los Lineales, podían actuar según las respuestas del estudiante. Esto ocurría gracias a la técnica Pattern-matching, que permitía tratar respuesta como aceptables o parcialmente aceptables. De esta manera, ya no se le decía al estudiante que la respuesta era correcta o incorrecta únicamente. Además, el material de enseñanza ya no era tan voluminoso como en su predecesor, sino que ya se permitía crear material de enseñanza de forma tal que los cambios a los mismos eran muy flexibles.

Entre 1967 y 1971 (Sheridan, 1983) nacieron los sistemas generativos (adaptativos) la idea original nace en 1960 por Sonia Landy Sheridan. Este tipo de sistema adoptan una nueva filosofía educativa, basada en que “los estudiantes aprenden mejor enfrentándose a problemas de

dificultad adecuada, que atendiendo a explicaciones sistemáticas”. En otras palabras, se trata de adaptar la enseñanza a sus necesidades. Por tanto, estos sistemas eran capaces de generar nuevos problemas de acuerdo al nivel de conocimiento del estudiante, podrían construir su solución y por ende diagnosticar la respuesta, lo que daba a entender que la solución no es única para un determinado problema. Sin embargo, estos sistemas tenían un limitante al no poder aplicarse a todo tipo de dominio, quedando su aplicación restringida al área del cálculo matemático.

Con la aparición de las nuevas teorías de Aprendizaje y Constructivismo de Piaget, las cuales ya influenciaban en la educación, Chomsky, Newell y otros investigadores introdujeron las ideas del procesamiento simbólico. Estas ideas despertaron el interés de la comunidad de IA y aparecen los STI, utilizando justamente las técnicas de la IA y Psicología Cognitiva, para guiar el proceso de enseñanza-aprendizaje, estas nuevas teorías hacen que el aprendizaje sea más efectivo y mucho más agradable.

### **3.1.3. Características de los STI**

Según (Jonassen & Wang, 1993), para que un STI sea considerado como tal debe pasar por tres pruebas antes de ser considerado inteligente:

1. El contenido del tema o especialidad debe ser codificado de tal forma que el sistema pueda acceder a la información, realizar inferencias o resolver problemas.
2. El sistema debe ser capaz de evaluar la adquisición de ese conocimiento por el alumno.
3. Las estrategias tutoriales deben ser proyectadas para así reducir la diferencia entre el conocimiento del experto con el conocimiento del alumno.

Entre las características más importantes de un STI según (Urretavizcaya Loinaz, 2001) están:

- El conocimiento del dominio debe estar limitado y claramente relacionado.
- Debe poseer conocimiento del estudiante para que le permita dirigir y adecuar la enseñanza.
- No debe existir una secuencia de enseñanza predeterminada.
- Debe realizar los procesos de diagnóstico adaptados al estudiante y más detallados.

- Se mejora la comunicación ya que el Alumno puede realizar preguntas al Tutor.

En atención a estas características se deben establecer tres bloques muy importantes: los temas de la materia que se instruye al estudiante (modelo del dominio), con las destrezas para enseñarlas (modelo de enseñanza) y la caracterización del estudiante (modelo del estudiante), todo ello para poder realizar una enseñanza individualizada.

### 3.2. Aplicación de STI

Existen varias tendencias clave en Artificial Intelligence in Education (AIED), incluidos los sistemas de tutoría inteligente, los agentes pedagógicos, las tecnologías inteligentes para el aula y el aprendizaje adaptativo (Erro! A origem da referência não foi encontrada. muestra las relaciones entre estos, con una advertencia de que, en la actualidad, la IA puede o no estar incluida en la tecnología).

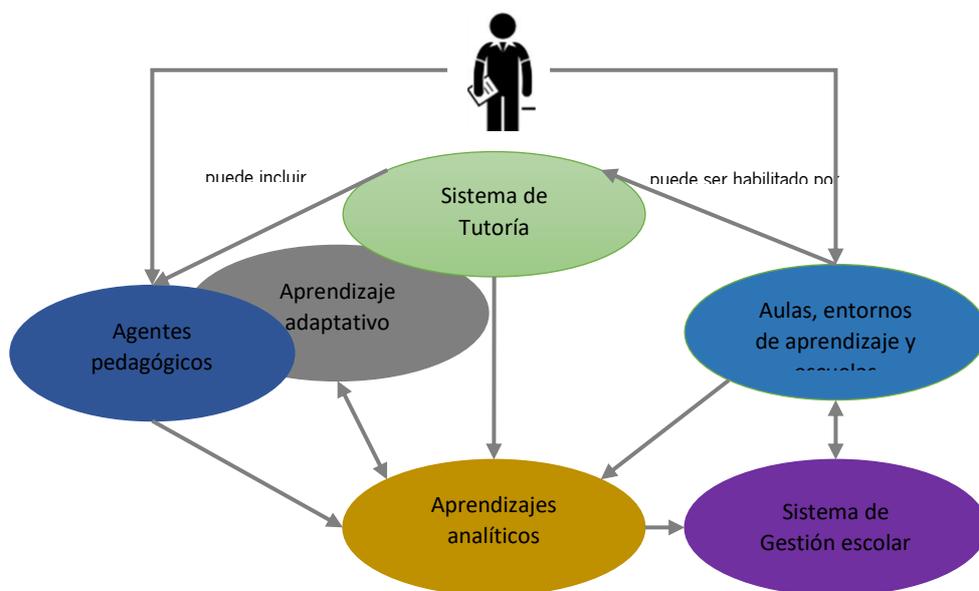


Figura 3.5 Descripción general de las aplicaciones típicas de AIED y sus relaciones (Southgate et al., 2019)

#### 3.2.1. Componentes de las aplicaciones de la IA

Los STI simulan (imitan) la tutoría humana uno a uno. La implementación de un STI existente en las escuelas generalmente se encuentra en dominios bien definidos y utiliza una pedagogía y modelos de estudiantes muy simples. Hasta la fecha, las escuelas no han adoptado STI sofisticados técnicamente. En la mayoría de los niveles educativos, los STI han tenido efectos

positivos similares en el aprendizaje como tutores humanos; sin embargo, puede que no sea adecuado para todos los estudiantes (Southgate et al., 2019).

Los **Agentes Pedagógicos (AP)** son entes virtuales integrados en tecnologías de aprendizaje para proporcionar la instrucción. Los AP se crearon agregando un componente social, emocional y motivacional a las tecnologías de aprendizaje y para comunicarse con los estudiantes de formas naturales similares a las de los humanos. La evidencia con respecto a la efectividad de los AP es mixta y algunos argumentan que los AP pueden distraer a los estudiantes de su aprendizaje.

El aprendizaje y la enseñanza adaptables y personalizados son STI, AP y aulas inteligentes. Los STI y AP son los que proporcionan una interfaz de usuario; la IA impulsa el sistema adaptativo, estos sistemas se pueden utilizar gradualmente hasta que el estudiante alcance la competencia necesaria que se requiere de la asignatura.

Los datos que genera el STI o sistemas de gestión del aprendizaje puede ofrecer información sobre cómo se desarrolla el aprendizaje individual a lo largo del tiempo y sobre qué enfoques de instrucción son efectivos y bajo qué condiciones.

El análisis de estos datos es posible a través del análisis de aprendizaje y los enfoques de minería de datos educativos habilitados por ciertos tipos de sistemas de IA que utilizan técnicas como el aprendizaje automático y el procesamiento del lenguaje natural.

### **3.3. Seguridad y Ética**

La IA no es la única entre las tecnologías emergentes en la creación de dilemas éticos. Sin embargo, las cuestiones éticas en la investigación y el desarrollo de la IA presentan desafíos únicos en el sentido de que nos piden que consideremos cuándo y cómo las máquinas deberían tomar decisiones sobre la vida humana y los valores que deberían guiar esas decisiones (Campolo et al., 2018, p. 30). De la misma forma los sistemas escolares interactuarán con la inteligencia artificial dependerá en gran medida de la educación pública que pueda generar confianza en la tecnología. Esta confianza debe basarse en la capacidad de los sistemas impulsados por IA para promover oportunidades de aprendizaje justas y valiosas y el bienestar de los estudiantes y de su comunidad escolar en general.

La protección de datos y privacidad adquiere una importancia fundamental en la educación. Por lo tanto, los estándares internacionales deben ser analizados y seguidos por ITS. A pesar de

esto, la comprensión de la opinión pública sobre estos temas es notoriamente deficiente, desde 1991, la Comisión Europea ha estado monitoreando las percepciones, actitudes y puntos de vista de los ciudadanos de la UE (Unión Europea) sobre cuestiones de protección de datos. Sin embargo, durante las dos últimas décadas, la protección de datos en la UE ha enfrentado nuevos retos y ha experimentado cambios importantes. Por ejemplo, la introducción y expansión del mercado único y de la denominada "sociedad de la información" aumentó la cantidad de datos personales que fluyen entre los Estados miembros de la UE. Con el fin de eliminar los posibles obstáculos a estos flujos transfronterizos y garantizar un alto nivel de protección de datos para los ciudadanos, la legislación de protección de datos de la UE se armonizó en la década de 1990 (Data Protection in the EU, 2018)

El EDPB fue creado por el Reglamento General de Protección de Datos de la UE (GDPR), adoptado el 27 de abril de 2016 y publicado en el Diario Oficial de la UE el 4 de mayo de 2016. Hay que tener en cuenta que una corrección de la GDPR se publicó en el Diario Oficial el 23 de mayo de 2018 y está disponible aquí. La versión consolidada del Reglamento de protección general de la UE (GDPR) está disponible en la página Legal Framework | European Data Protection Board (europa.eu). El GDPR, que entró en vigor el 24 de mayo de 2016 y es aplicable a partir del 25 de mayo de 2018, crea un conjunto armonizado de normas aplicables a todo el procesamiento de datos personales que se lleva a cabo en la UE.

El objetivo de este nuevo conjunto de normas es garantizar que los datos personales gocen de un alto nivel de protección en toda la UE, aumentando la seguridad jurídica tanto para las personas como para las organizaciones que procesan datos y ofreciendo un mayor grado de protección para las personas, la Directiva de protección de datos policiales Police Data Protection Directive (PDPD) se aplica al tratamiento de datos personales realizado por las autoridades competentes con el fin de prevenir, investigar, detectar o perseguir delitos o ejecutar sanciones penales.

Según la página TMF Group (Las leyes sobre protección de datos en América Latina | TMF Group (tmf-group.com)), en América Latina países como Brasil está liderando el sendero en esta parte del Mundo, con la creación de sus nuevas leyes de protección de datos que consideran más de 40 regulaciones que se encuentran en vigencia, algunas leyes generales de protección de datos incluyen algunas partes de la GDPR, claro está que impone varias obligaciones a las compañías que procesan datos en Brasil, Colombia tiene su propia legislación sobre la protección de datos

más desarrollada de esta parte del Continente, con leyes que vienen desde 2012, y actualizadas con leyes que contienen información sobre el almacenamiento y el trato de datos personales, como utilizarlos, actualizarlos o eliminarlos.

México viene promulgando desde antes de la creación de la GDPR, pero algunas de esas leyes no están bien definidas lo que hace que sean inaplicables, y que no puedan aplicarse, Argentina continúa revisando el proyecto de ley, muchos cambios están alineados con las directivas GDPR, considerando los riesgos que surgen de los avances tecnológicos.

En Ecuador El Art. 66 de la Constitución de la República, en su parte pertinente dispone “...Se reconoce y garantizará a las personas: 19. El derecho a la protección de datos de carácter personal, que incluye el acceso y la decisión sobre información y datos de este carácter, así como su correspondiente protección. En el año 2019 la empresa Novaestrat protagonizó la filtración de más de 15 millones de datos personales, lo que originó que el Ministerio de Telecomunicaciones presentara a la Asamblea Nacional el Proyecto de Ley de Protección de Datos Personales, pero este proceso se ha quedado estancado y sigue en Análisis, por lo que hasta la actualidad no entra en vigencia (Álvarez, 2017).

### **3.4. Emociones en STI**

Recientes estudios indican que el aprendizaje mejora al minimizar las emociones negativas y maximizar las positivas (Juutinen & Saariluoma, 2010), (McDaniel et al., 2007) (Regan, 2019). Sin embargo, esta conexión dista mucho de ser simple y directa, aunque se acepta que los estados emocionales positivos y negativos pueden causar variados tipos de pensamiento y pueden tener un efecto bajo la perspectiva del aprendizaje.

Los alumnos de educación on-line suelen experimentar las siguientes emociones (Bosquez et al., 2018):

- Frustración
- Ansiedad
- Vergüenza
- Entusiasmo
- Orgullo

La frustración parece ser la emoción más prevalente asociada con el aprendizaje en línea, esta es una emoción que surge en circunstancias en las que una persona no puede alcanzar un resultado deseado. Hay varias razones por las que los estudiantes se sienten frustrados cuando interactúan en un contexto de aprendizaje electrónico. Los más comunes son (Borges Sáiz, 2005):

- Cuando les falta tiempo para aprender a utilizar un sistema de aprendizaje electrónico;
- cuando hay una falla en la computadora o el sistema;
- cuando no pueden seguir el sistema de enlaces o los enlaces no llevan a ninguna parte; y
- cuando hay una falta de instrucciones claras sobre cómo moverse en el sistema de aprendizaje electrónico.

El uso de un sistema de e-learning, especialmente cuando el usuario no es hábil, puede causar ansiedad. Esta emoción tiende a disminuir cuando aumenta la familiaridad con el sistema de e-learning. Las razones más comunes de ansiedad son:

- Cuando hay retrasos en el sistema de e-learning;
- ante un problema y no saber qué hacer;
- ante lo desconocido; y
- a la espera de recibir asignaciones

Los estudiantes tienden a sentir vergüenza cuando se sienten expuestos y tienen la sensación de incompetencia frente a una tarea que deberían poder hacer, o cuando sienten que los están siguiendo y que incluso podrían dejar de ser un participante activo.

El orgullo es otra emoción que los estudiantes experimentan al estudiar en línea. Esta emoción incita a una disposición positiva a aprender. Por lo general, los estudiantes en línea obtienen esta emoción de los comentarios positivos de los demás. Un afecto positivo hacia la práctica de aprendizaje y las herramientas utilizadas lleva a un mayor conocimiento, experiencia y actividad, en tanto que un afecto negativo conducirá a evitar la herramienta de aprendizaje.

Por tanto, el análisis de las emociones en los sistemas STI debe diseñarse en el la interfaz, el diseño, la línea gráfica, las imágenes, la tecnología, etc. Todos estos aspectos permitieron al alumno desarrollar la motivación, el compromiso y un rol activo en el aprendizaje.

En base a todo esto se pueden tomar correctivos al momento no solo de diseñar un aula virtual, sino en la forma como realiza la comunicación con el estudiante, es por eso que se deben de tomar en cuenta lo siguiente:

- Tecnología
- Contenido
- Diseño
- Retroalimentación
- Comunicación

Es importante que los estudiantes puedan interactuar. Es más probable que acepten retroalimentación de alguien con quien ya son familiares. Esto ayudará a crear un sentimiento de conexión.

### **3.4.1. Aprendizaje Afectivo**

Según Escalante (Escalante et al., 2012), la afectividad se caracteriza por la capacidad de la persona de experimentar sentimientos y emociones producidas por condiciones endógenas y exógenas. Por ende, la vida afectiva se asocia naturalmente con las emociones y con los sentimientos. De todo esto se desprende que la afectividad se puede dar a entender también como una reacción emotiva extendida que tiene afectos bien marcados en el cuerpo y en la mente.

Uno de los retos a los que se enfrenta el aprendizaje afectivo es reunir investigadores de diferentes campos para depurar el lenguaje utilizado en relación con el afecto y el aprendizaje (Picard et al., 2004). Es ineludible crear un modelo que pueda ofrecer resultados efectivos en el proceso de aprendizaje. El modelo construido debe tener en cuenta otros elementos como el modelo o perfil del usuario y también el estilo de aprendizaje.

#### **3.4.1.1. Cognición**

La cognición se refiere a procesos mentales, como la atención, la memoria y la comprensión. La ciencia cognitiva es un estudio interdisciplinario de la mente investigado por varias disciplinas. tales como filosofía, psicología, inteligencia artificial, neurociencia, lingüística y antropología. Los estudios de ciencias cognitivas comenzaron en la década de 1950 (Rivière, 1991); originó las teorías de la mente basadas en representaciones complejas y procedimientos computacionales.

La visión tradicional de las teorías del aprendizaje trata la emoción y la cognición como ocupando dos diferentes dominios. En este escenario, el dominio cognitivo juega el papel predominante sobre las emociones. Los enfoques más recientes abogan por que una integración dinámica debe ser consideradas entre variables cognitivas y emocionales (Blanchette & Richards, 2010).

Esta también se reconoce que la integración influye en la atención, la memoria, el razonamiento, la interpretación, juicio y toma de decisiones, que son esenciales en el proceso de aprendizaje (Blanchette & Richards, 2010).

#### 3.4.1.2. Análisis de Comportamiento

Otro método para medir la atención es mediante el uso de interacción del teclado y el mouse, que pueden proporcionar un método de monitoreo continuo, fácil de usar y no invasivo. Investigaciones realizadas por (Epp et al., 2011) y (Nahin et al., 2014) buscaron mejorar el reconocimiento de las emociones mediante el uso de información complementaria por medio del teclado, en base al análisis de patrones mecanográficos y el tipo de textos escritos.

En este sentido, (Khanna & Sasikumar, 2010) encontraron que la velocidad con la que se escribe disminuye cuando las personas están en estado emocional negativo como la tristeza. Por otra parte, (Khan et al., 2013) realizaron una investigación empírica en dos estudios, concluyendo que es posible determinar el estado del ánimo de los usuarios mediante la interacción con el teclado y el mouse.

La pulsación de tecla del usuario y la conducta del mouse pueden cambiar en respuesta a varios factores como el estrés y el estado de salud (Araujo et al., 2005). Con base en los estándares de escritura del teclado y el patrón de movimiento del mouse, los investigadores también observaron una cierta cantidad de variabilidad inherente en el patrón de escritura de un individuo (Araujo et al., 2005).

A partir del análisis de la Interacción Hombre-Computador, se encontraron que los individuos tienden a interactuar de modo diferente con diferentes aplicaciones y en diferentes contextos (J. Carneiro et al., 2018). Así, incluso en dos tareas parecidas que implican mecanografía, las personas tienden a escribir de manera diferente si están en una aplicación de mensajería o en una de procesamiento de textos (Pimenta et al., 2016).

El proceso de extracción de características de emoción mediante el teclado y el mouse comienza con la adquisición de eventos de interacción. Esto se lleva a cabo mediante una aplicación desarrollada específicamente que se instala en cada computadora o laptop. Estas aplicaciones de registro se ejecutan en segundo plano, recopilan los eventos necesarios y no requieren intervención consciente por parte del usuario. Por tanto, es una técnica no intrusiva (Carneiro et al., 2016). La aplicación utilizó información disponible de otras mediciones y parámetros de proceso para calcular una estimación de la cantidad de interés. La Figura 3.6 presenta un ejemplo de una biometría de comportamiento de un usuario de mouse y teclado

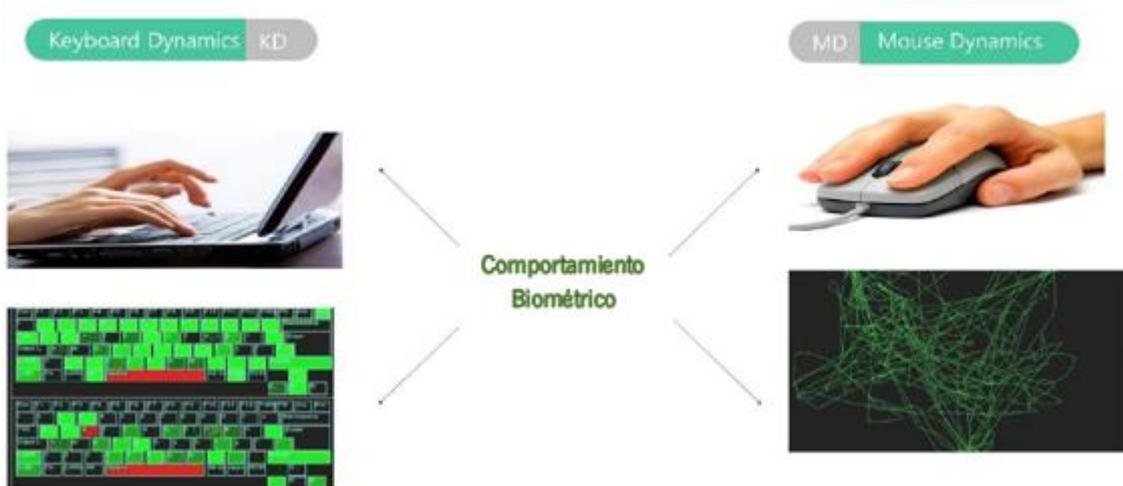


Figura 3.6 Comportamiento Biométrico (Durães, 2018)

Los datos recopilados por la aplicación dan como resultado un registro del conjunto de eventos causados por la interacción del usuario con el mouse y el teclado. Esta información por sí sola es inútil ya que no permite la extracción de información relevante e interpretativa. Entonces es necesario procesar la información relacionada con los eventos registrados y transformar esta misma información en las características que se presentan a estudiar para que se pueda extraer y analizar la información proveniente del registro de eventos provocados por la interacción del mouse y el teclado.

Para procesar los eventos registrados se utiliza una aplicación que recibe como entrada los eventos registrados y transforma este conjunto de datos en parámetros que serán evaluados por las métricas definidas, que son el resultado de la aplicación como salida. Los siguientes eventos son adquiridos por la aplicación y enviados al servidor para su procesamiento (Novais & Carneiro, 2016):

- **MOV (Mouse Mov)**, timestamp, posX, posY: un evento que describe el movimiento del mouse, en un tiempo dado, a las coordenadas (posX, posY) en la pantalla;
- **MOUSE DOWN (Mouse Clicked)**, timestamp, [Izquierda | Derecha], posX, posY: este evento describe la primera mitad de un clic (cuando se presiona el botón del mouse), en un tiempo determinado. También describe cuál de los botones se presionó (izquierdo o derecho) y la posición del puntero del mouse en ese instante;
- **MOUSE UP (Mouse Clicked)**, timestamp, [Izquierda | Derecha], posX, posY: un evento similar al anterior pero que describe la segunda parte del clic, cuando se suelta el botón del mouse;
- **MOUSEWHEEL**, timestamp, dif: este evento describe una diferencia de desplazamiento del mouse, en un momento dado;
- **KEY DOWN**, timestamp, tecla: este evento identifica una tecla determinada del teclado que se presiona hacia abajo, en un momento dado;
- **KEY UP**, timestamp, tecla: este evento describe la liberación de una tecla determinada del teclado, en un momento determinado.

Los registros individuales creados por la aplicación para cada usuario se procesan para recopilar información que puede caracterizar el comportamiento del usuario durante su interacción con la computadora. La **Erro! A origem da referência não foi encontrada.1** presenta la información general del conjunto de datos recopilado de la biometría de comportamiento del usuario.

*Tabla 3.1 Vista general del conjunto de datos de la biometría del comportamiento*

\MOV, timestamp, posX, posY
MD [L   R], timestamp, posX, posY
MU [L   R], timestamp, posX, posY
MW, timestamp, dif
KD, timestamp, key
KU, timestamp, key
APP, timestamp, app_name

El ejemplo que se muestra en la **Erro! A origem da referência não foi encontrada.1** muestra un breve registro que comienza con un movimiento del mouse (dos primeras líneas), contiene un clic con un pequeño arrastre (líneas 3-5) y termina con un poco más de movimiento (dos últimas líneas).

### 3.4.1.2.1. Analítica

La salida del registro de datos de MouseDynamics (Interacción del Mouse) analiza el comportamiento del mouse del individuo y calcula su biometría de comportamiento. Estas características tienen como objetivo cuantificar el rendimiento individual del mouse. Tomando como ejemplo el movimiento del mouse, el usuario raramente lo mueve en línea recta entre dos puntos, siempre hay algún grado de curva. Cuanto mayor es la curva, menos eficiente es el movimiento (Carneiro et al., 2016) (Carneiro et al., 2015). El siguiente ejemplo se muestra en la Tabla 3.2, donde podemos ver que en cada línea y separados por comas tenemos: el tipo de movimiento (mouse o teclado); marca de tiempo; la posición x en la pantalla; y la posición y en la pantalla.

*Tabla 3.2 Ejemplo del movimiento del mouse*

MOV 635296941683402953, 842, 566
MOV 635296941684122117, 841, 565
MOUSE_DOWN,635296941684453157, Left ,703 ,457
MOV,635296941685284123,708,450
MOUSE_UP,635296941685294123, Left ,708 ,450
MOV,635296941685724578,708, 455
MOV,635296941685803588,720,457

Así, en la primera línea, tenemos un movimiento del mouse (MOV) en un momento dado (timestamp), en el eje de abscisas 842 y en el eje de coordenadas 566. En la segunda línea también tenemos un movimiento del mouse (MOV) en un momento dado (timestamp), en el eje de abscisas 841 y en el eje de coordenadas 561. En la tercera línea tenemos la primera parte de un clic del mouse en el botón izquierdo (MOUSE DOWN) en un momento dado (timestamp), en el eje de abscisas 703 y en el eje de coordenadas 457. En la cuarta línea tenemos un movimiento del mouse (MOV) en un momento dado (timestamp), en el eje de abscisas 708 y en el eje de coordenadas 450. En la quinta línea tenemos una parte de la liberación del clic del botón izquierdo del mouse (MOUSE UP) en un momento determinado (timestamp), en el eje de abscisas 708 y en el eje de coordenadas 450. En la sexta y séptima línea tenemos un movimiento raro (MOV) en un momento dado (marca de tiempo), donde en la sexta línea está en el eje de la abscisa 708 y en el eje de coordenadas 455 y en la séptima línea está en el eje de la abscisa 720 y en el eje de coordenadas 457.

### 3.4.1.2.2. Datos analíticos de la interacción del mouse y el teclado

Una de las propiedades interesantes de las características descritas en esta sección es que, a excepción de la velocidad y la aceleración del mouse (como se detalla a continuación), un valor de desviación creciente denota un trabajo decreciente. Estas relaciones con el desempeño se han establecido en estudios de investigación realizados previamente (Carneiro et al., 2016), (Gonçalves et al., 2019).

En la Figura 3.7 se presenta la información obtenida a nivel analítico que se utiliza a partir de la interacción con el mouse y el teclado.



Figura 3.7 Resultado de datos de la interacción del mouse y el teclado (Durães, 2018)

En cuanto a la biometría del comportamiento, de las características presentadas en la Figura 3.7, (Durães et al., 2016a) consideran de ellas 15 características. 12 se extraen del mouse y 3 se extraen del teclado:

- **Velocidad del Mouse (MV):** Es la distancia recorrida por el mouse (en pixeles) durante el tiempo (pixeles/milisegundo).

- **Aceleración del Mouse (MA):** La velocidad del mouse (en píxeles/milisegundos) durante el tiempo (píxeles/milisegundos<sup>2</sup>).
- **Duración del clic (CD):** Mide el lapso de tiempo entre dos clics consecutivos del mouse. Cuanto más largos sean los clics, menos eficiente será la interacción (en milisegundos).
- **Tiempo entre clics (TBC):** El intervalo de tiempo entre dos clics consecutivos del mouse (en milisegundos).
- **Tiempo de Doble Clic (TDC):** El lapso de tiempo entre dos eventos de MOUSE UP y MOUSE DOWN consecutivos cuando es menor a 200 ms, es decir, la duración de un doble clic.
- **Distancia entre clics (DBC):** Representa la distancia total recorrida por el mouse entre dos clics consecutivos del mouse (en píxeles).
- **Exceso de distancia (ED):** Esta función mide el exceso de distancia que recorrió el mouse entre cada dos eventos consecutivos de MOUSE UP y MOUSE DOWN (en píxeles).
- **Suma absoluta de ángulos (ASA):** Esta función busca encontrar cuánto giró el mouse, independientemente de la dirección en la que giró (en unidades de grados).
- **Suma de ángulos firmada (SSA):** Esta característica es muy similar a la mencionada anteriormente, con la excepción de que mide hacia qué lado gira más el mouse (en grados).
- **Distancia media del mouse a la línea recta (ADMSL):** Esta función cuantifica la suma media de las distancias sucesivas del mouse a la línea recta definida por dos clics consecutivos (en píxeles).
- **Exceso promedio de distancia entre clics (DEA):** Esta función mide el exceso promedio de distancia que recorrió el mouse entre cada dos clics consecutivos del mouse (en píxeles).
- **Distancia del mouse a la línea recta (DMSL):** Esta función cuantifica la suma de las distancias sucesivas del mouse a la línea recta definida por dos clics consecutivos (en píxeles).
- **Key Down Time (KDT):** el intervalo de tiempo entre dos eventos consecutivos de KEY DOWN y KEY UP, es decir, durante cuánto tiempo el usuario presionó una tecla determinada (en milisegundos).

- **Tiempo entre teclas (TBK):** El intervalo de tiempo entre dos eventos consecutivos de KEY UP y KEY DOWN, es decir, cuánto tiempo le tomó al usuario presionar otra tecla después de soltar la anterior (en milisegundos).
- **Velocidad de escritura (WV):** El intervalo de tiempo entre dos eventos consecutivos de KEY UP y KEY DOWN, es decir, cuánto tiempo le tomó al usuario presionar otra tecla (teclas por minuto).

Dada la complejidad de algunas características, la Figura 3.8 se muestran algunas métricas con ejemplos gráficos.

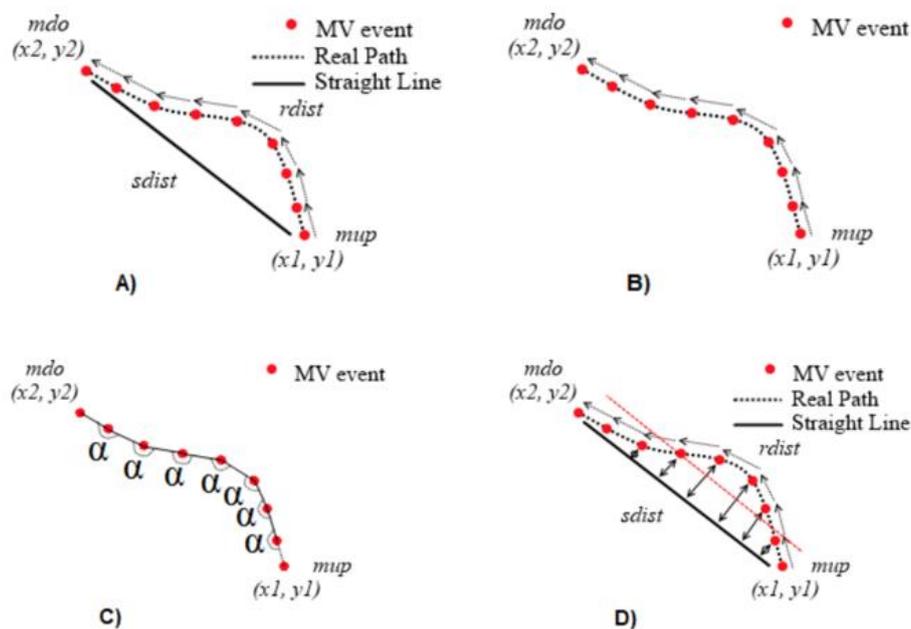


Figura 3.8 Eventos del Mouse (Carneiro & Novais, 2017)

La Figura 3.8.A) muestra una serie de eventos de movimientos del mouse (MV), entre dos clics consecutivos del mouse. Se representa la diferencia entre la distancia más corta ( $sdist$ ) y la distancia realmente recorrida por el mouse ( $rdist$ ); la Figura 3.8.B) es la distancia real recorrida por el mouse entre cada dos clics consecutivos se obtiene sumando las distancias entre cada dos eventos MV consecutivos; la Figura 3.8.C) es la suma de los ángulos del movimiento del mouse se obtiene sumando todos los ángulos entre cada dos vectores de movimiento consecutivos; y la Figura 3.8.D) la distancia promedio a la que se encuentra el mouse desde la línea más corta entre dos clics se representa mediante la línea recta discontinua

### **3.5. Síntesis**

Este capítulo comienza con una descripción de los sistemas tutores inteligentes (STI), su arquitectura, su evolución y sus principales características. Luego, se explican las aplicaciones que tienen los sistemas STI, es decir, sus componentes de IA. Posteriormente se explican algunos aspectos éticos y de seguridad que deben tener estos sistemas. Finalmente, se explican las formas de generar emociones en los usuarios a través de estas plataformas.



# 4

---

## 4. Implementación del Sistema de Tutoría Inteligente

---

Basado sobre el estado del arte realizado previamente, el objetivo es crear una arquitectura de un Sistema Tutor Inteligente que en su trabajo diario se adapte a las características cada estudiante, tanto emocional como de conocimiento. El modelo se basa en 4 partes principales: módulo experto, estudiante, tutor e interfaz. La propuesta se fundamentó en rediseñar un nuevo marco para cada una de ellas.

### 4.1. 1ª Implementación

La primera implementación desarrollada se basó únicamente en las tareas propuestas y la interacción del mouse y el teclado y la información que se pudiera tomar de allí. Entonces, la arquitectura propuesta se muestra en la Figura 4.1, que se divide en tres partes principales: el nivel más bajo con los dispositivos que generan los datos; el nivel intermedio donde se ubica la nube STI; y el más alto nivel, el sistema cliente. En el nivel inferior, los dispositivos que generan los datos sin procesar describen la interacción de los estudiantes tanto con el mouse como con el teclado. Los datos brutos generados se almacenan localmente hasta que se sincronizan con el servidor web STI en la nube a intervalos regulares. En esta capa, cada evento está codificado con la información requerida correspondiente (es decir, marca de tiempo, coordenadas, tipo de clic, tecla presionada, etc.). El nivel intermedio se subdivide en cinco capas: la capa de almacenamiento, la capa analítica, la capa de perfil de clasificación, la capa de clasificación de emociones y la interacción del modelo adaptativo. En la capa de almacenamiento, la base de datos MongoDB almacena los datos recibidos de los usuarios cuando se sincroniza. MongoDB, además de ser un motor de almacenamiento de datos, también proporciona herramientas nativas de procesamiento de datos como *Map Reduce* y *Aggregate Pipeline*. Ambos procedimientos pueden operar en colección compartida (particionada en varias máquinas con escala horizontal).

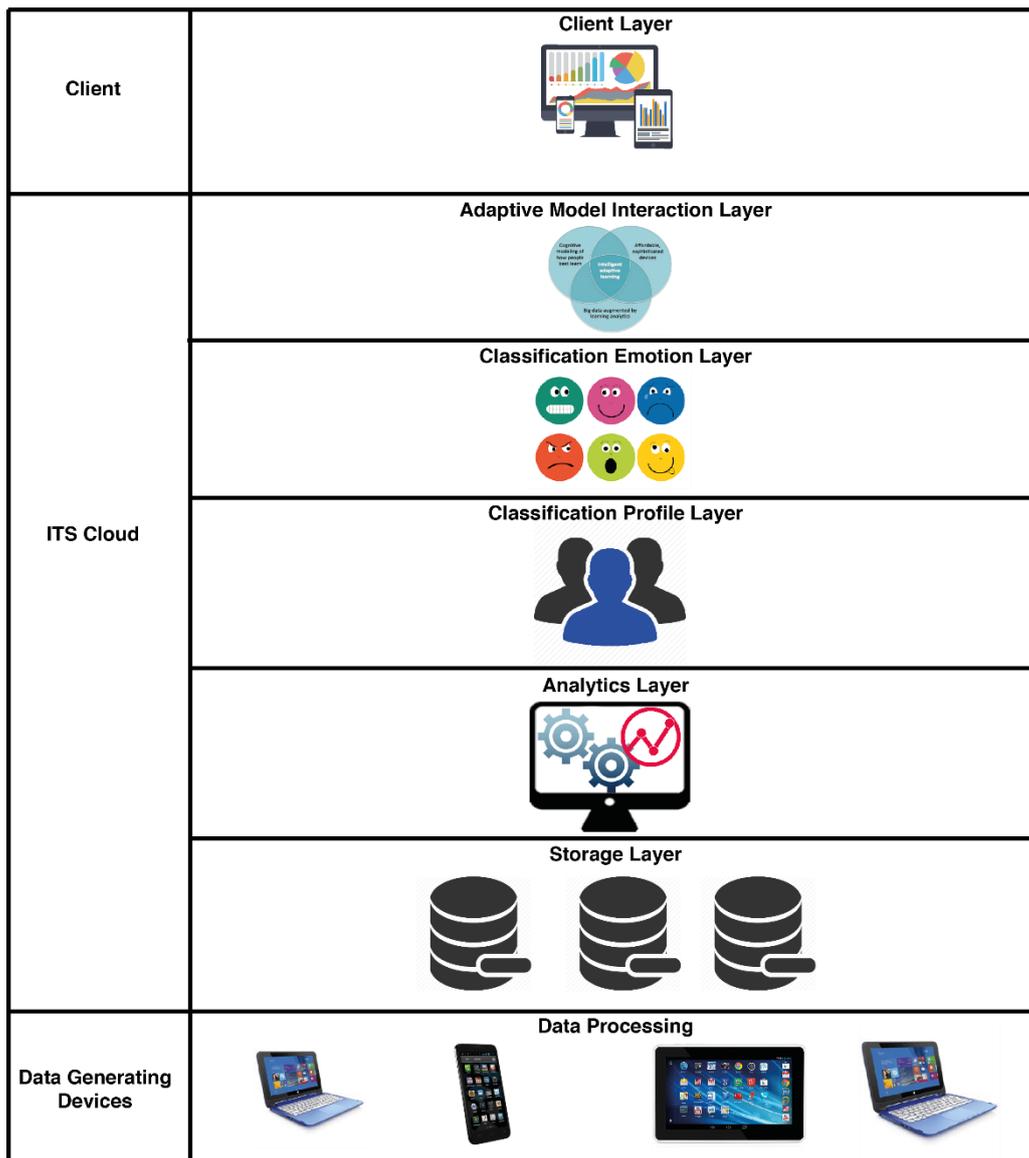


Figura 4.1 Primera arquitectura implementada (Toala, R., Gonçalves, F., Durães, D., & Novais, P. (2018).

En la capa analítica se desarrollaron algunos procesos que tienen como objetivo preparar los datos recibidos, como eliminar contornos (por ejemplo, la tecla de retroceso que se presiona continuamente para eliminar un juego de caracteres no es una pulsación de tecla regular), por lo que estos datos se evalúan de acuerdo con a las métricas presentadas. Además, el sistema recibe esta información en tiempo real y calcula, a intervalos regulares, los valores de la biometría conductual y la estimación del nivel general de atención de cada alumno. Estas son herramientas poderosas para realizar análisis y análisis estadístico en tiempo real, que son útiles para consultas ad-hoc y también informes agregados previamente. MongoDB proporciona un gran conjunto de operaciones de agregación que procesan registros de datos y devuelven resultados corregidos, lo

que permite el uso de estas operaciones en la capa de datos para simplificar el código de la aplicación y limitar los requisitos de recursos.

En la capa de perfil se clasifican todos los indicadores de usuario. Con base a los datos preprocesados y en la construcción de los metadatos que apoyarán la toma de decisiones, el sistema clasificará el perfil del usuario. Cuando el sistema presenta un conjunto suficientemente grande de casos de estudio, es posible realizar clasificaciones con precisión. El clasificador, en tiempo real, clasificará los datos recibidos de los diferentes niveles de atención, creando el perfil de aprendizaje de cada alumno. Con estos resultados, es posible obtener un perfil del estilo de aprendizaje.

La capa de clasificación de emociones tiene todos los datos de emoción del usuario y la construcción de metadatos que respaldarán la toma de decisiones. El sistema clasificará el perfil emocional del usuario y, cuando el sistema tenga un gran conjunto de datos, permitirá realizar valoraciones con precisión. Hay que tener en cuenta que los movimientos del mouse y los patrones de uso del teclado también ayudan a predecir el estado de ánimo del usuario.

La interacción del modelo adaptativo se basa tanto en la capa de perfil de clasificación como en la capa de emoción de clasificación, que ajusta el nivel de dificultad de las tareas para el usuario en tiempo real.

Finalmente, la aplicación web está disponible en la capa de cliente donde los estudiantes pueden visualizar las tareas que deben completar. Además, para los gerentes (profesores), la información de atención del usuario se muestra en la capa del cliente. La interfaz gráfica de usuario presente en esta capa consta de un módulo que permite la creación de gráficos (CHART) y permite la creación de equipos virtuales (SALA o Clases) para que el administrador pueda visualizar intuitivamente el comportamiento de los estudiantes.

#### **4.2. 2ª Implementación**

La segunda implementación consiste en crear un sistema STI a la medida de cada usuario mediante una arquitectura del modelo de estudiante STI. Para este modelo fue necesario definir los siguientes parámetros: atención, estilo de aprendizaje, estilo de comportamiento del usuario y estado emocional. Mediante estos parámetros, el modelo de alumno del STI se debe ajustar y adaptar el nivel de dificultad de aprendizaje a cada usuario.

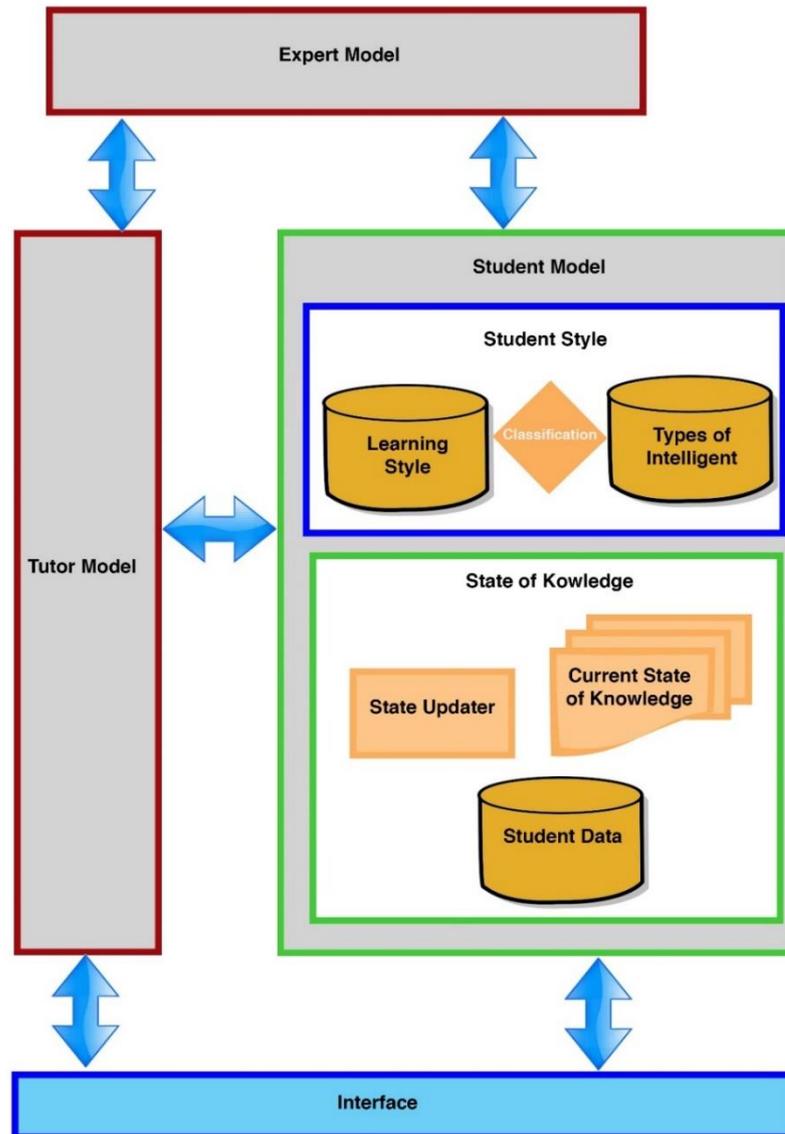


Figura 4.2 Módulos principales de un STI (Cataldi, Z., & Lage, F. J. (2009)).

Así, fue necesario desarrollar una nueva arquitectura debido al vacío encontrado en la revisión de la literatura, ya que la mayoría de los sistemas desarrollados hasta la fecha son invasivos e intrusivos. Surgió la idea de crear un enfoque no intrusivo y no invasivo basado en la observación de los cambios conductuales de un individuo o grupo en relación con el patrón conductual y emocional. La estructura del sistema desarrollado se muestra en la Figura 4.2.

El marco se basa en el STI tradicional, con los cuatro módulos principales: el modelo experto, el modelo tutor, el modelo estudiante y la interfaz. El modelo del alumno se subdivide en dos submódulos: el estilo del alumno y el estado de conocimiento.

El submódulo estilo del estudiante es donde se clasifica y almacena toda la información sobre el nivel de atención, estilo de aprendizaje y estado emocional. El estado de conocimiento del submódulo recibe toda la información de la interfaz, se actualiza el estado del estudiante, y en base al estado actual del conocimiento, el estilo de aprendizaje, el nivel de atención y el estado emocional de dicho estudiante, proporciona y adapta el sistema para el usuario con el fin de mejorar el proceso de aprendizaje.

### 4.3. 3ª Implementación

Partiendo del apartado anterior, la idea es crear un sistema STI adaptado a cada alumno. En esta primera fase se desarrolló la estructura general de un STI, que se muestra en la Figura 4.3.

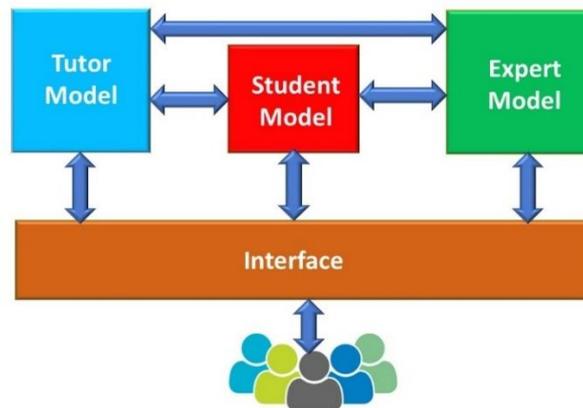


Figura 4.3 Estructura general de un STI (Adaptado de (Silva Rodrigues, 2014)).

El objetivo es tener una interfaz que se comunique directamente con los usuarios y capture los datos necesarios para crear un perfil de estudiante. A partir de ahí, el sistema, en función del contenido que tiene que abordar y el perfil del alumno, aplica las herramientas necesarias para que el alumno adquiera los conocimientos necesarios.

Haciendo una descripción más completa del sistema, la Figura 4.4 presenta el sistema STI con más detalle, incluyendo el modelo de estudiante y el modelo de tutor.

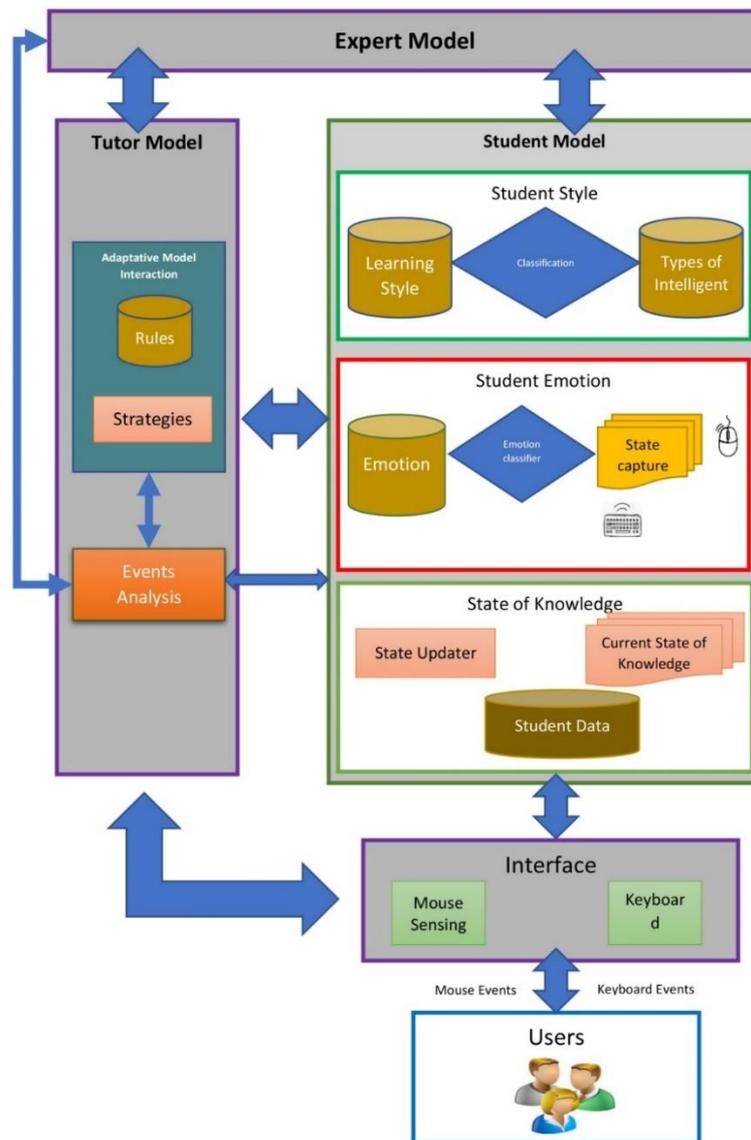


Figura 4.4 Implementación STI.

El modelo del estudiante se divide en tres niveles: estilo del estudiante, emoción del estudiante y estado de conocimiento. En el primer nivel, se define el estilo del estudiante, el estilo de aprendizaje del estudiante y la interacción del comportamiento estándar del estudiante. En el segundo nivel, emoción del alumno, se crea el perfil emocional del alumno, en función de su estado emocional. Finalmente, en el tercer nivel, el estado del conocimiento, se crea el perfil del alumno respecto a su evolución en el aprendizaje. Toda esta información se almacena en la base de datos del sistema.

El Modelo Tutor, basado en el modelo Estudiante, debe ajustar y adaptar el nivel de dificultad de aprendizaje de cada alumno, en función de sus parámetros. De esta forma, se utiliza para aprender estrategias y reglas para un contenido determinado.

La interfaz captura datos de la interacción del estudiante con el STI. La captura de datos se realiza mediante un enfoque no invasivo y no intrusivo. Existe una aplicación de registro que se ejecuta en segundo plano, guardando los eventos necesarios del estudiante con el STI. Esta aplicación tiene un dispositivo que genera datos en bruto que describen la interacción del estudiante con el mouse y el teclado. También hay sensores flexibles que utilizan la información disponible de otras mediciones y parámetros de proceso para calcular y estimar la cantidad de datos en bruto. Los datos en bruto generados se almacenan localmente hasta que se sincronizan con el servidor web en la nube a intervalos regulares, generalmente cada 5 minutos. En esta capa, cada evento está codificado con la información necesaria (por ejemplo, marca de tiempo, coordenadas del movimiento del mouse, tipo de clic, pulsación de tecla, etc.).

#### **4.4. Arquitectura Final Implementada**

En este apartado se desarrolla la estructura general del STI, que se muestra en la Figura 4.5.

La propuesta consiste en una interfaz que se comunica directamente con los usuarios y captura los datos necesarios para crear un perfil de estudiante. El sistema, en función de los contenidos que debe abordar y el perfil del alumno, aplica las herramientas del alumno para adquirir los conocimientos necesarios. Otra función del módulo de interfaz es mostrar los informes a los estudiantes o profesores y la presentación formateada de los estudiantes. Haciendo una descripción completa del sistema, la Figura 4.6 presenta el marco de un Tutor inteligente con más detalle.

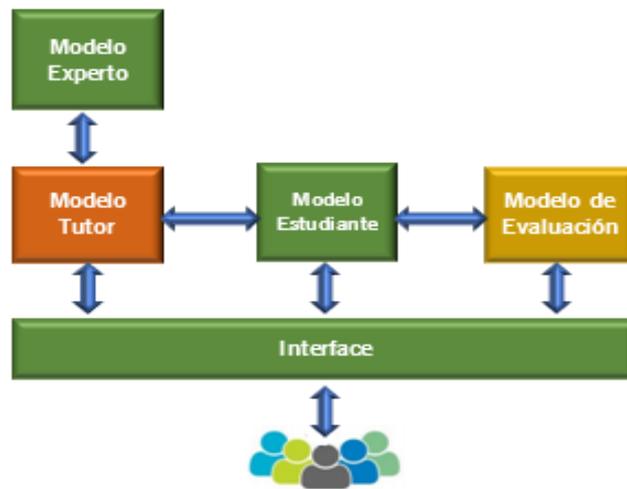


Figura 4.5 Arquitectura propuesta del STI (Toala et al., 2021)

El módulo de interfaz es la interacción *front-end* del Tutor inteligente. Este sistema integra todo tipo de información necesaria para interactuar con el usuario, a través de gráficos, texto, multimedia, video y menús. El módulo de interfaz es el componente de comunicación del Tutor Inteligente que controla al usuario y la interacción del sistema. Este módulo captura datos de la interacción del usuario con el STI. La captura de datos se realiza mediante un enfoque no invasivo y no intrusivo. La aplicación de registro de datos se ejecuta en segundo plano, guardando los eventos necesarios del usuario con el STI. La aplicación se utiliza los dispositivos que genera datos en bruto que describen la interacción del usuario con el sistema: mouse, teclado y actividad. En base de esta interacción se utilizan dicha información para realizar cálculos (como teclas presionadas, movimiento del mouse, etc.) y estimar la cantidad de estos datos. Dichos datos se almacenan localmente hasta que se sincronizan con el servidor web en la nube a intervalos regulares, generalmente cada 5 minutos. El módulo de interfaz se relaciona con el módulo de tutor para recibir los ejercicios. Luego, el módulo de interfaz envía el ejercicio y la solución al módulo de tutor. Finalmente, el módulo de tutor da retroalimentación indicando si la respuesta es correcta o da sugerencias y las soluciones si la respuesta es incorrecta. El módulo de interfaz también está conectado con el módulo de estudiante para intercambiar la información de inicio de sesión del estudiante y con el módulo de evaluación es para intercambiar los informes de uso y los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

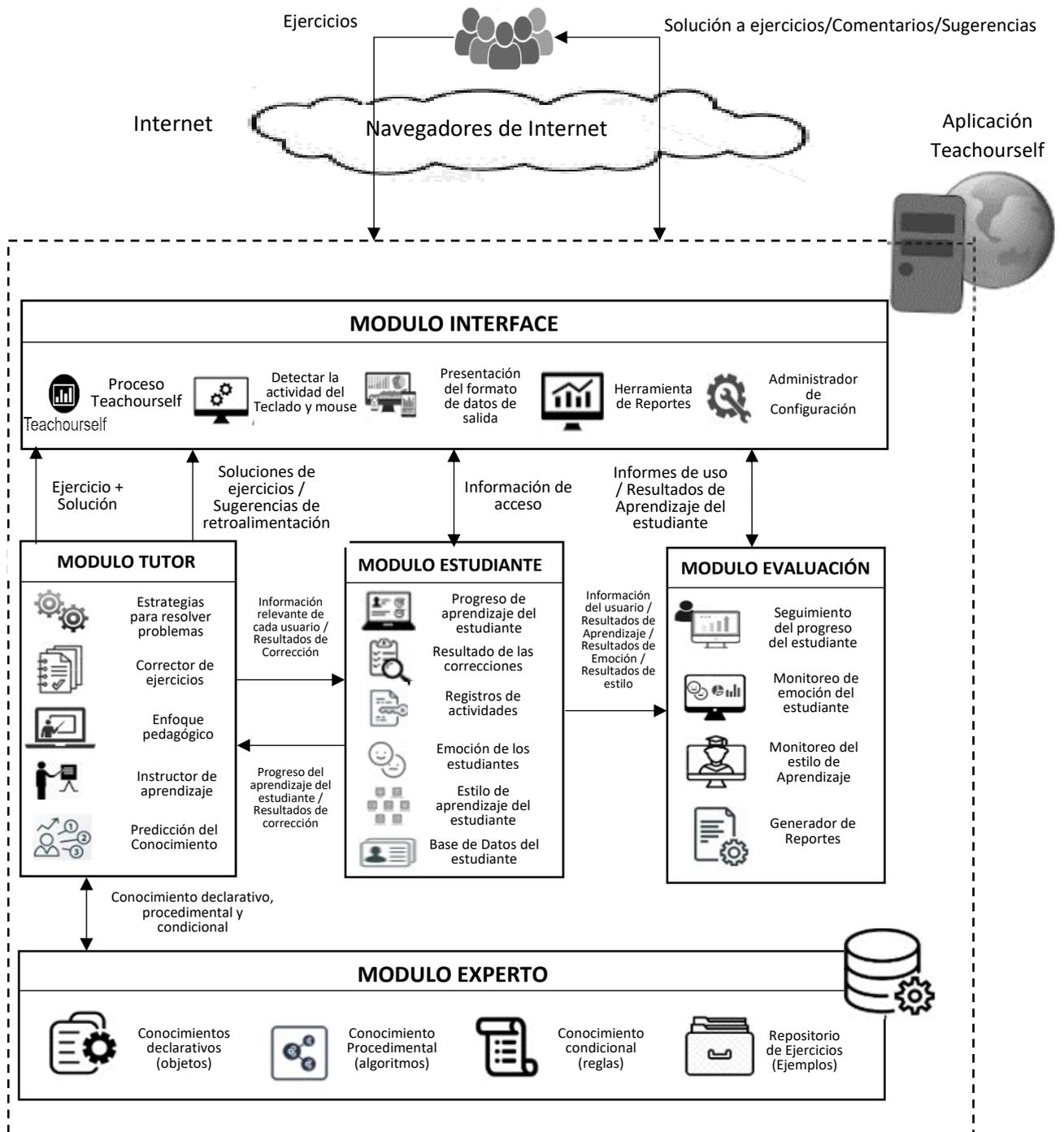


Figura 4.6 Framework del Sistema de Tutoría Inteligente (Toala et al., 2021)

El módulo del tutor acepta información del módulo del estudiante, el módulo de interfaz y el módulo experto. El módulo de tutor contiene las definiciones de las estrategias de resolución de problemas, el corrector de ejercicios, las definiciones del enfoque pedagógico, el instructor de aprendizaje y la predicción del conocimiento. El módulo de tutor está conectado al modelo experto, e intercambian el conocimiento declarativo, procedimental y condicional. Está estrechamente relacionado con el módulo del alumno, ya que utiliza el conocimiento sobre el progreso del

aprendizaje del alumno y los resultados de las correcciones. Otra función del modo tutor es proporcionar la información relevante del alumno y los resultados de las correcciones en el módulo de alumno. También monitorea el progreso del usuario, creando un perfil de fortalezas y debilidades con respecto a las reglas de producción.

El módulo del estudiante tiene el progreso del aprendizaje del estudiante, los resultados de las correcciones, el registro de actividades, la emoción del estudiante y el estilo de aprendizaje del estudiante almacenados en la base de datos del estudiante. El módulo del estudiante también brinda información en el módulo de evaluación relacionada con la información del usuario, los resultados del aprendizaje, los resultados de las emociones y los resultados del estilo de aprendizaje.

El módulo de evaluación tiene el seguimiento del progreso del alumno, el seguimiento de las emociones del alumno, el seguimiento del estilo de aprendizaje del alumno y el generador de los informes necesarios.

El módulo experto contiene el conocimiento declarativo (objetos), el conocimiento procedimental (algoritmos), el conocimiento condicional (reglas) y el repositorio de ejercicios y clasificación de tareas relacionadas con el trabajo en función de las aplicaciones de usuario utilizadas.

#### **4.5. Desarrollo del STI**

Se desarrolló una aplicación STI para aplicar en la Universidad de Manabí, Ecuador, denominada *Teacherourself*. La unidad que contenía era de un curso de Estadística. Cuando el alumno abre la aplicación por primera vez debe registrarse. Este primer contacto es para que el usuario introduzca algunos datos personales al registrarse.

Cuando el usuario realiza una prueba es posible indicar el nivel de dificultad de la prueba a realizar. En la Figura 4.7 se presenta la segunda página de una página de registro y la prueba de nivel de dificultad a realizar. De ahí en adelante el sistema crea un perfil de usuario a partir de estos datos.



Figura 4.7 Segunda página de la aplicación Teachourself.

Cuando el usuario ya está registrado, en los siguientes usos el programa abre la pantalla donde ingresa el nombre de usuario y la contraseña.

#### 4.5.1. Caso de uso típico del STI

Inicialmente, cuando el alumno realiza una prueba, podemos indicar el nivel de dificultad de la prueba a realizar.

Antes de que comenzara la prueba, se les preguntó a los estudiantes un cuestionario con la siguiente información: “¿Qué tan preparado estás para la evaluación?”, “¿Has estudiado para esta evaluación?” Todas las respuestas tienen solo la posibilidad de “Sí” o “No”.

Al intentar realizar una evaluación, es posible hacerlo de dos formas posibles. El primer tipo es una evaluación regular con varios niveles, donde el estudiante no tenía un temporizador para cada pregunta. En el segundo tipo sí existe un tiempo para cada pregunta. En este segundo tipo, cuando el alumno da la respuesta, si la respuesta es correcta, aparece en verde; si la respuesta es incorrecta, aparece en rojo. La idea de este segundo tipo de examen es inyectar estrés en los estudiantes y compararlo con su desempeño en el primer tipo, verificando cómo reaccionan los estudiantes al estrés. La Figura 4.8 presenta un ejemplo de pregunta de la aplicación STI, donde el estudiante responde a una pregunta corregida de manera correcta.



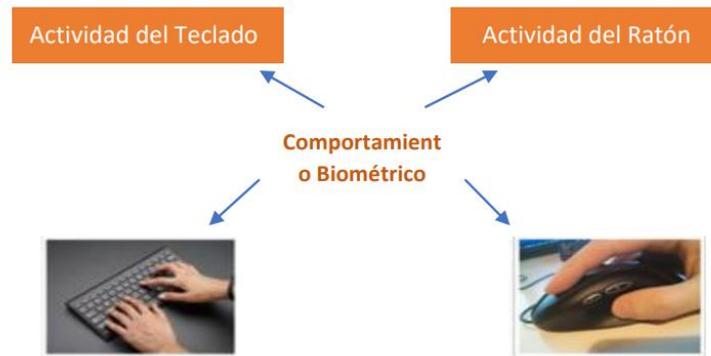
Figura 4.8 Ejemplo de pregunta de la aplicación ITS.

Al final de la evaluación, se aplica otro cuestionario con las siguientes tres preguntas: “¿Fue fácil la prueba?”; “¿Conseguirás una buena nota?”; “Escribe tu opinión sobre la prueba”. Las dos primeras preguntas solo tienen la posibilidad de respuesta de “Sí” o “No”. La tercera pregunta es una escritura de texto libre con un límite de 70 caracteres.

La captura de datos se basa en la dinámica del mouse y el teclado para proponer un método completamente no intrusivo para evaluar la interacción estudiante-computadora. Cada computadora tiene un teclado, un mouse y un monitor. La actividad de evaluación comienza simultáneamente para todos los estudiantes, inician sesión en el software estándar con sus credenciales y comienza la actividad.

Si el alumno opta por realizar una evaluación sin límite de tiempo, los datos obtenidos por el sistema se presentan en la Figura 4.9. Si el alumno opta por realizar una evaluación con límite de tiempo, los resultados obtenidos son los iguales a que se muestran en la Figura 4.9.





*Figura 4.10 Dispositivos de Comportamiento Biométrico*

Dado que el estudio de las características del comportamiento se relaciona principalmente con los hábitos de conducta del individuo, el cálculo del nivel de atención considera la identificación del individuo, las acciones del mouse y el teclado y la aplicación que utilizó el usuario. Todos estos elementos son monitoreados y adquiridos por el sistema de computación (Zhou et al., 2015).

Después de preprocesarlos, los datos se almacenan en una base de datos MongoDB para la futura extracción de datos. A través de estas técnicas, es posible (1) estudiar sus patrones de comportamiento, de modo que se pueda obtener su patrón de comportamiento y su influencia en el proceso de aprendizaje; (2) estudiar las relaciones entre las reacciones afectivas del individuo y sus patrones de comportamiento en el durante la ejecución de las tareas, para que se pueda hacer una evaluación de las emociones y su influencia en el proceso de aprendizaje (Dai et al., 2015).

Finalmente, es posible obtener el nivel de atención de cada alumno en cada situación, el estilo de aprendizaje del usuario y las funciones de predicción en situaciones de noticias. Esta información se muestra en la capa del cliente, en una visualización gráfica o en una visualización de tabla para que el administrador (profesor) pueda visualizar intuitivamente el comportamiento del alumno.

#### 4.5.2.1. Atención

En base al marco descrito, el sistema propuesto monitorea y preprocesa un conjunto de características de comportamiento. A través de estas características, permite el desarrollo de un modelo de clasificación capaz de determinar la tarea en cuestión ejecutada por el usuario, dada la influencia de los comportamientos biométricos del usuario. Para este estudio, se seleccionaron con este fin la dinámica de pulsaciones de teclas, la dinámica del mouse, las métricas de rendimiento de la atención y el tipo de estilo de aprendizaje.

La atención del usuario, el tipo de tarea y la evaluación de la tarea constituyen el estilo de aprendizaje. Eso significa que todo el conjunto de datos que se genera está relacionado con una medida de usuario específica, es decir, con la interacción que se tenga con el mouse y el teclado. Para ejemplificar este resultado, se seleccionó la interacción realizada por uno de los estudiantes, mostrada en la Figura 4.11.

```
velocity,angles,logCount,distDiff,clickDuration,clickTotal,backSpace,leftSide,rightSide,emotionLevel
0,0,0,0,0,0,0,0,1,2
475.0598061795942,196440.59650436442,2117,0.0,46327.0,2117,0,0,0,2
589.2237572351095,98403.54243371652,941,4278.374602568358,44544.0,941,0,0,1,2
658.6536162414662,191476.37799549394,1523,7526.737597390657,44440.0,1523,0,0,1,2
435.70894845232425,113318.79559649891,971,5247.888601660817,45416.0,971,0,0,1,2
283.9105642694479,49512.469538793914,535,2549.895487866416,46519.0,535,0,0,1,2
334.08363763304413,65950.48773595302,534,2205.3589127628784,43728.0,534,0,1,0,2
363.47675106084756,53430.64258767822,560,2681.1868012760765,45616.0,560,0,0,1,2
801.7057679213582,208713.90030446363,1411,6427.15024385645,44544.0,1411,0,1,2,2
670.2808127190489,87759.9074548356,668,2751.375155579403,45120.0,668,0,0,3,2
62.22154055254967,22064.302535975305,81,262.5359696210387,45399.0,81,1,0,1,2
```

*Figura 4.11 Data set ejemplo*

En base a la interacción del teclado y del mouse, se identifica cómo el estudiante responde a una actividad específica que está realizando. Como se puede observar existen varias cantidades, rotuladas con el nombre de las columnas. Dentro las columnas se puede visualizar la distancia recorrida del mouse, la duración del clic y los clics totales realizados. En cuanto al teclado se muestra las veces utilizada la barra de borrado. El nivel de atención de la actividad es evaluado mediante la clasificación de las características que se tengan.

#### 4.5.2.2. Emociones

Los movimientos de la mano del usuario y por extensión los movimientos del mouse de la computadora tienen una relación directa con la condición psicológica - sentimental del usuario. Para ser más específicos, la forma en que se mueve el mouse (órbita, velocidad, intervalos de inmovilidad, dirección) puede demostrar la condición del usuario (Carneiro & Novais, 2017), (Durães et al., 2016b).

Y es justamente la forma en que un usuario escribe puede indicar su estado emocional. Presionar rápidamente el teclado puede significar un estado alterado, ira o estrés, por ejemplo, mientras que tomarse demasiado tiempo puede significar tristeza o fatiga. La dinámica de las pulsaciones, que mide los ritmos de escritura de un individuo, ha sido objeto de una investigación

considerable durante las últimas décadas y su uso para el reconocimiento de emociones ha mostrado resultados prometedores. (Rodrigues et al., 2012), (Carneiro et al., 2016).

En la Figura 4.12 el último número de estas columnas está asociado al estado emocional del estudiante. La evaluación de la actividad es calificada en un rango entre 1 y 10 (inclusive), donde 10 es la evaluación más alta y 1 la evaluación más baja. Estos datos son proporcionados por el responsable (docente a cargo de la información que brinde al STI) y representan la percepción que este tiene sobre el desempeño del usuario.

### 4.5.3. Identificación del estilo de aprendizaje

El objetivo principal de esta actividad es identificar el estilo de aprendizaje del usuario. Esta información les dará a las personas a cargo el mejor enfoque que deben adoptar para mejorar su desempeño. La identificación del estilo de aprendizaje estará influenciada por el tipo de tarea, el nivel de atención en esa tarea y una evaluación cualitativa dada por la respuesta al desempeño del usuario. Para que los resultados de la tarea sean los más correctos posible, es necesario que los datos se recopilen constantemente. Una vez recopilados los datos del usuario, se crea el conjunto de datos que se utilizará en el algoritmo de identificación. Con el conjunto de datos listo, el sistema ejecuta el conjunto de datos en el algoritmo y luego analiza los resultados. Una vez que los datos se recopilan en la base de datos, se manipulan y se crea un conjunto de datos necesarios para identificar el estilo de aprendizaje.

El Algoritmo 4.1 detalla el modo que se ha utilizado para extraer la información necesaria. Inicialmente es necesario definir el número de *clusters* que el algoritmo necesita buscar. En este caso, es fácil encontrar el número ya que las emociones que están ligadas al estilo de aprendizaje son tres: Positivo, Negativo y Neutro.

Cuando finaliza el algoritmo de agrupamiento, se analizan los resultados. El objetivo es incluir los resultados de la evaluación obtenidos en cada tarea realizada y el nivel de atención. El peso asignado a cada uno de ellos fue del 50%. Finalmente, la clasificación del estilo de aprendizaje de cada usuario se obtiene a través de la mejor clasificación obtenida de la evaluación de cada tarea realizada y el nivel de atención.

```

Data:
    u = user's identifier
    Result: learning style code
Algorithm:
    d = database (Select * from Session where user = u)
    dataset = datasetCreation (d)
    SimplekMeans algorithm;
    algorithm.clusterNumber = 3
    algorithm.buildCluster(dataset)
    result = algorithm.clusters
    learningStyle
        best = 0
        foreach(results => r)
            value = (r.evaluation* 0.5) + (r.attention*0.5)
            if(value > best)
                learningStyle = r.learning
            end if
        foreach end for

```

Algoritmo 4.1 Proceso de estilo de aprendizaje. Adaptado de (Durães, 2018)

#### 4.5.4. Extracción de sentimientos a través de textos

Una otra forma de obtener emociones es a través de análisis de textos. En la Figura 4.12 aparece el resultado de las respuestas de texto que se obtuvieron de los estudiantes, y en base a la extracción de textos se representan las emociones. Cada respuesta representa un porcentaje que varía de 0 a 1 de emociones positivas y negativas, y el total de estas emociones tiene que ser 1.

Word	Positive	Negative	Anger	Anticipation	Disgust	Fear	Joy	Sadness	Surprise	Trust
detrás	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
ábaco	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1									
abandonar	0,1,0,0,0,1,0,1,0,0									
abandonado	0,1,1,0,0,1,0,1,0,0									
abandono	0,1,1,0,0,1,0,1,1,0									
disminuir	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
disminución	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
Abba	1,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
abad	0,0,0,0,0,0,0,0,0,1									
abreviar	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
abreviatura	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
abdomen	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
abdominal	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
secuestro	0,1,0,0,0,1,0,1,1,0									
aberrante	0,1,0,0,0,0,0,0,0,0									
aberración	0,1,0,0,1,0,0,0,0,0									
suspensión	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0									
aborrecer	0,1,1,0,1,1,0,0,0,0									
aborrecible	0,1,1,0,1,1,0,0,0,0									

Figura 4.12 Emociones obtenidas de las respuestas de manera general

#### 4.6. Síntesis

En este capítulo se propone la arquitectura de un entorno de aprendizaje inteligente para abordar los problemas de aprendizaje y de monitoreo de manera no invasiva. En concreto, la

arquitectura propuesta monitorea la emoción de los estudiantes en el aprendizaje a distancia. Con esta arquitectura es posible detectar esos factores (tales como frustración, de satisfacción, etc.) de forma dinámica y no intrusiva, permitiendo prever situaciones negativas. La arquitectura propuesta añade un módulo adicional de evaluación a los módulos ya conocidos en los STI y propone mejoras en los demás.

Así, el módulo tutor tiene la definición de los problemas a resolver, así como las estrategias y las correcciones de ejercicios, el enfoque pedagógico, y el conocimiento de las predicciones. El módulo del estudiante contiene el progreso de manera individual de cada estudiante, un registro de sus errores y aciertos, así como su estilo de aprendizaje. Este módulo también brinda información al módulo de evaluación, además de las emociones que ha tenido durante su progreso. El módulo de evaluación tiene información del progreso del estudiante, así como también se realiza un seguimiento de sus cambios emocionales su estilo de aprendizaje y genera los informes necesarios para lograr el mejoramiento del estudiante. Finalmente, el módulo experto contiene el conocimiento declarativo procedimental, las reglas y el repositorio de ejercicios.

Se realizó un análisis de las opiniones que realizaron los estudiantes al finalizar las pruebas. De esta manera se pudo conocer qué tipo de emoción influyó en el momento del desarrollo de la misma (con la interacción del mouse y teclado). Estas emociones se han agrupado en 3 tipos: Positivas, Negativas y Neutro. Esta información servirá para la predicción del estilo de aprendizaje.

# 5

---

## 5. Análisis de Resultados Prácticos

---

El objetivo principal de este capítulo es mostrar que la arquitectura propuesta en el capítulo anterior fue validada por casos de estudio. El objetivo a largo plazo es capacitar a los profesores con información valiosa sobre el estado de los estudiantes, lo que les permitirá dirigir de mejor manera las habilidades y las metodologías de enseñanza de sus estudiantes.

Este trabajo de validación se desarrolló en varias fases. La primera validación de datos y estudios de casos estuvo relacionada con la obtención del estado de atención y de acción ante una prueba donde no existe presión de tiempo al responder las preguntas. En la segunda validación se aplicó la misma prueba, pero ahora con control de tiempo (se pone presión de tiempo al test, y así medir como cambia el estado emocional del estudiante ante esto) en sus respuestas. De esta manera se busca contrastar los resultados del primer test con el segundo y ver cómo cambia su estado emocional. En las dos siguientes pruebas se estudia la interacción del usuario con los dispositivos periféricos, con el fin de poder predecir los comportamientos del usuario. Para esto se aplica igualmente una prueba con tiempo y el mismo sin tiempo.

### 5.1. Actividades de Aprendizaje

Las primeras pruebas se aplicaron en el seguimiento de las actividades de aprendizaje, en las cuales se aplicó una misma lección utilizando diferentes tipos de actividades en diferentes días.

#### 5.1.1. Caso de Estudio 1 – Atención del usuario en las actividades de aprendizaje

Este primer caso de estudio tiene un enfoque innovador de STI, el cual monitorea el comportamiento biométrico del usuario y mide su nivel de atención durante las actividades de e-learning. Además, se presenta un modelo de categorización de aprendizaje automático que monitorea la actividad de los estudiantes durante las lecciones.

#### 5.1.1.1. Contexto

El propósito de este trabajo es comparar una clase normal y una de evaluación en la Escuela Secundaria de Caldas das Taipas, Guimarães, Portugal. Para ello, se seleccionó para participar a un grupo de 22 estudiantes (13 varones y 9 mujeres) de curso profesional de multimedia, cuya edad promedio es de diecisiete años. En diferentes semanas tienen una lección normal y una de evaluación, donde tienen acceso a una computadora individual y tres horas para completar una tarea. La lección comenzó a las 8:30 y terminó a las 11:00 a.m. en las dos sesiones. Los estudiantes recibieron, al inicio de la lección, un documento con los objetivos de la tarea. Las lecciones normales y de evaluación contenían tareas que debían completarse con Adobe Photoshop.

#### 5.1.1.2. Motivación

Un aspecto importante que vale la pena mencionar es que Photoshop requiere un uso preciso del mouse, lo que lo convierte en una aplicación adecuada para el estudio actual. La idea es verificar si es posible monitorear la actividad de las lecciones y si hay diferencias en el patrón de interacción del usuario en las lecciones normales y de evaluación.

#### 5.1.1.3. Objetivos

El primer objetivo fue comparar los datos de las dos lecciones y visualizar la interacción del usuario. El segundo objetivo es evaluar en este estudio la influencia de la clase en el alumno, considerando las técnicas de aprendizaje y todo el entorno que lo rodea. El tercer objetivo consistió en aplicar redes neuronales para clasificar las clases y estimar una clase a partir de los resultados obtenidos de un alumno.

#### 5.1.1.4. Resultados

Además de las características biométricas capturadas, cada estudio de caso fue etiquetado con la actividad respectiva (es decir, video, imagen, texto y audio). Además, en función de las características biométricas registradas de diferentes sensores, la distribución de cada característica (por ejemplo, media, mediana, desviación estándar, etc.) se presenta en diferentes escalas. Para resolver este problema, fue necesario aplicar escalado de características (es decir, técnicas de normalización). En este estudio, los dos métodos utilizados fueron la normalización máximo-mínimo y la normalización del Z-score. La técnica de normalización Min-max es una estrategia de normalización que escala linealmente un valor de característica al rango  $[0,1]$ ,

basado en los valores mínimo y máximo del conjunto de valores observados. En otras palabras, el valor mínimo del valor de la característica se asigna a 0 mientras que el valor máximo se asigna a 1. En cuanto a la puntuación Z, esta técnica es un sustituto de la medición real y representan la distancia de un valor de la media medida en desviaciones estándar. Esta técnica de distribución es útil cuando se relacionan diferentes distribuciones de medición para que cada una actúe como un "denominador común".

Con esto, se utilizaron varios métodos de categorización de aprendizaje automático para predecir la actividad del alumno, mediante el análisis de su comportamiento en la IHC. Se entrenaron y probaron varios clasificadores con el fin de determinar el método más eficiente para categorizar la actividad del alumno, donde se tomaron en cuenta los métodos más aplicados en la literatura científica. El conjunto de métodos de clasificación entrenados y probados fueron: Support Vector Machine, Nearest Neighbour, Naive Bayes, Neural Network and Random Forest. En cuanto al método de validación, se utilizó un método de validación dividido para determinar el desempeño de la clasificación, donde 2/3 parte de los casos de estudio se utilizaron para entrenar a los clasificadores mientras que el 1/3 parte restante se utilizó para probarlo. La Tabla 5.1 presenta el conjunto de resultados para el desempeño de los clasificadores.

*Tabla 5.1 Análisis Comparativo del rendimiento de la categorización del aprendizaje automático*

	RAW	Normalización Min-Max	Z-score
Support Vector Machine	37.50%	43.75%	37.50%
Nearest Neighbour	43.75%	62.50%	43.75%
Naive Bayes	68.75%	75.00%	68.75%
Neural Network	31.25%	56.25%	56.25%
Random Forest	81.25%	87.50%	87.50%

En cuanto al resultado, se pueden tener en cuenta algunas conclusiones: (1) de acuerdo con los métodos de clasificación entrenados y probados, el método Random Forest presenta en general el mejor desempeño, con un porcentaje correcto de clasificaciones del 87.50%, mientras que Support Vector Machine presenta el peor desempeño; (2) mediante la aplicación de técnicas de escala de características, el desempeño de los clasificadores aplicados mostró una mejora entre [6.25% -25%], donde la mayor mejora se verifica en el clasificador de redes neuronales; (3)

el rendimiento de los clasificadores depende de la calidad de las características y del número total de estudios de caso analizados.

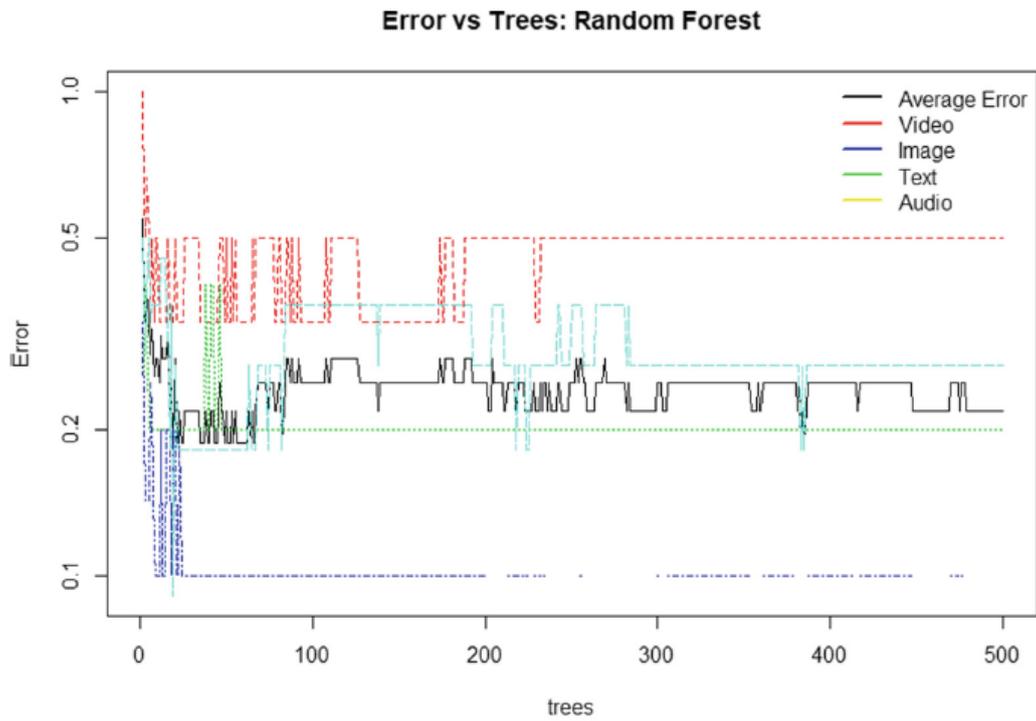
Dado el conjunto de conclusiones, se seleccionó el método Random Forest para categorizar la actividad del estudiante. Además, este modelo se optimizó mediante la aplicación de optimización de hiperparámetros. En otras palabras, para optimizar el rendimiento de clasificación de Random Forest, se requirió encontrar el número óptimo de hojas / características (es decir, entre [1–11] hojas / características) y el número de árboles (en este estudio se modeló entre [1–500] árboles) que mejor se adapte al modelo y minimice la función de error de validación. Para ello, se utilizó una búsqueda exhaustiva en celdas, donde se entrena y valida un conjunto de valores de parámetros para cada modelo.

Al final, el modelo con menor tasa de error fue el seleccionado. La Figura 5.1 Análisis de clasificación Random Forest presenta el conjunto de resultados de este proceso, donde muestra que el modelo tuvo un error promedio minimizado cuando el número de árboles de decisión es 80. En cuanto al número de hojas / características para cada árbol de decisión, 9 fue el número que presentó el mejor rendimiento. Además, se presenta la relevancia de las características del modelo, donde el temporizador de actividad siempre es, con mucho, el factor más importante para predecir la actividad del estudiante, seguido de la duración, distancia, clics (ddc), tiempo entre teclas (tbk), tecla abajo, tiempo (kdt), distancia punto a línea entre clic (dplbc) y distancia entre clic (dbc).

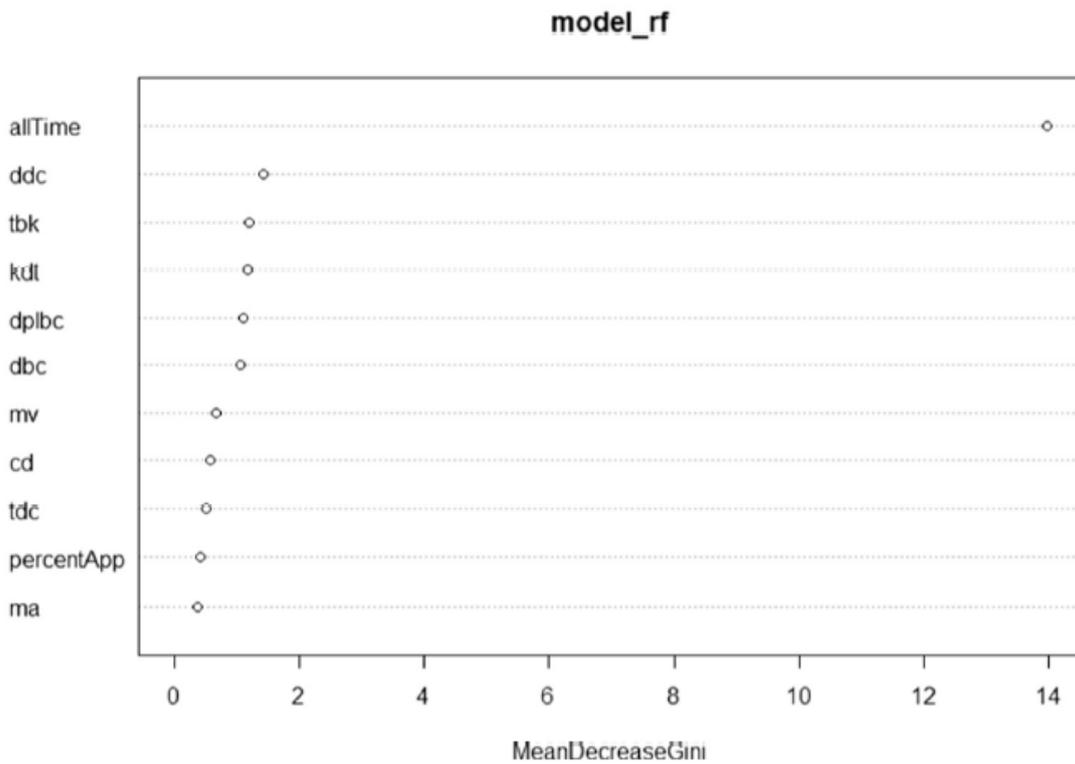
La matriz de confusión respectiva del modelo de Random Forest se presenta en la Tabla 5.2 Random Forest: Matriz de confusión, donde solo la actividad de Video presenta una clasificación errónea del 40% del total de casos (es decir, 2/5 casos se clasificaron erróneamente como actividad de edición de audio).

*Tabla 5.2 Random Forest: Matriz de confusión*

	Audio	Imagen	Texto	Video	Predicción Correcta (%)
Audio	2	0	0	0	100%
Imagen	0	6	0	0	100%
Texto	0	0	3	0	100%
Video	2	0	0	3	60%



(a) Random Forest: Error vs Árboles basado en las diferentes actividades etiquetadas



(b) Random Forest: Funciones de relevancia en la clasificación de actividades

Figura 5.1 Análisis de clasificación Random Forest

## **5.2. Atención y estilo de Aprendizaje**

La atención significa concentración en uno de los diversos sujetos u objetos que pueden captar nuestra mente en detrimento de los demás (Toala et al., 2018). Así, el concepto de atención también se puede definir como el cambio de un gran conjunto de datos no estructurados adquiridos en datos estructurados, donde se conserva la información principal. Los resultados anteriores indican que los estilos de aprendizaje pueden influir en el rendimiento del aprendizaje (Andrade et al., 2009). Es decir, cada usuario tiene su propia forma de asimilar el conocimiento, su preferencia de aprendizaje y cuando se conoce este estilo se maximiza el proceso de aprendizaje.

### **5.2.1. Caso de Estudio 2 – Interacción Humano Computador en el STI**

Los STI son entornos de aprendizaje que ayudan a los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, además implementa algoritmos inteligentes que se adaptan a los usuarios y permiten la aplicación de principios de aprendizaje complejos. Un STI normalmente debería funcionar con un solo usuario porque ellos difieren en muchas dimensiones y el objetivo es ser sensibles a las idiosincrasias de los usuarios individuales. Algunas actividades básicas de los STI deben incorporar el aprendizaje activo del usuario, la interactividad, la adaptabilidad y la retroalimentación.

#### **5.2.1.1. Contexto**

El estudio se llevó a cabo en la escuela secundaria de Caldas das Taipas. Cada computadora tiene un teclado, un mouse y una pantalla. La actividad de evaluación comienza al mismo tiempo para todos los estudiantes e inician sesión en el software predeterminado con sus credenciales personales y comienza la actividad. El experimento se llevó a cabo en cuatro lecciones diferentes, cada una con una duración de 100 minutos. En cada lección, se aplicaron diferentes estilos de aprendizaje al mismo contenido para determinar el estilo de aprendizaje del usuario.

#### **5.2.1.2. Motivación**

La atención significa concentración en uno de los diversos sujetos u objetos que puede captar nuestra mente en detrimento de los demás. Así, el concepto de atención también se puede definir como el cambio de un gran conjunto de datos no estructurados adquiridos en datos estructurados, donde se conserva la información principal. Los resultados anteriores indican que los estilos de aprendizaje pueden influir en el rendimiento del aprendizaje.

Es decir, cada usuario tiene su propia forma de asimilar el conocimiento, su preferencia de aprendizaje y cuando se conoce este estilo se maximiza el proceso de aprendizaje.

### 5.2.1.3. Objetivos

La primera lección utilizó ejercicios en video con instrucciones paso a paso. La segunda lección utilizó ejercicios con imágenes, donde los estudiantes tendrían que llegar a esta información. La tercera lección utilizó ejercicios con solo texto, sin ninguna imagen de apoyo. Finalmente, la cuarta lección utilizó ejercicios con indicaciones solo de audio. Para ello, se seleccionó a un grupo de 14 estudiantes para realizar este experimento.

### 5.2.1.4. Resultados

En la Tabla 5.3, se presenta la información sobre el resultado de las cuatro lecciones que se tomaron.

*Tabla 5.3 Resumen de las características de cada actividad de evaluación*

Clases	Fecha	Duración (minutos)		
		x	$\bar{x}$	S
Video	21-05-2018	7.31612E+15	8.4653E+15	3.00389E+15
Imagen	24-05-2018	9.99167E+15	1.21798E+16	4.7135E+15
Texto	25-05-2018	6.19021E+15	7.29301E+15	2.6420E+15
Audio	29-05-2018	7.0459E+15	8.95808E+15	3.55391E+15

Después de completar las cuatro lecciones con diferentes estilos de aprendizaje, se aplicó un pequeño cuestionario a los estudiantes para indicar su estilo de aprendizaje preferido. El resultado indicó: 70% para la imagen y 30% para el video.

Considerando estos resultados obtenidos en la evaluación de los ejercicios realizados en las cuatro lecciones, en los datos presentados en la

Tabla 5.4 Resumen de la variación de la función biométrica para cada lección y en la Figura 5.2 Actividad para las cuatro lecciones se concluye que: (a) el mejor nivel de atención se obtuvo en la video-lección, que era el estilo de aprendizaje favorito de solo el 30% de los estudiantes.

En el estilo favorito de los estudiantes, ellos tuvieron un nivel de atención de 91.36, que tiene un promedio más bajo; y (b) en el caso de la velocidad del mouse, el nivel más alto se obtuvo en la lección de video e imagen.

Tabla 5.4 Resumen de la variación de la función biométrica para cada lección

Clase	CD	DBC	DDC	DPLBC	KDT	MA	MV	APP	TBK
Unidades	Ms	px	px	ms	px	px/s <sup>2</sup>	px/ms	%	Ms
Video	188.31	206.1	214.24	2819.12	1002.8	0.6811	0.5931	94.14	1865
Imagen	150.73	150.73	161.88	3725.35	2669.1	0.6659	0.5413	91.36	1738
Texto	146.43	227.4	152.52	2838.14	1223.0	0.6056	0.5312	89.23	1073.1
Audio	281.0	189.2	119.10	2408.52	714.1	0.5828	0.4986	93.7	1758
$\bar{X}_{\text{D}}$	187.66	227.0	165.70	2946.41	1384.2	0.6367	0.5447	92.08	1599.3

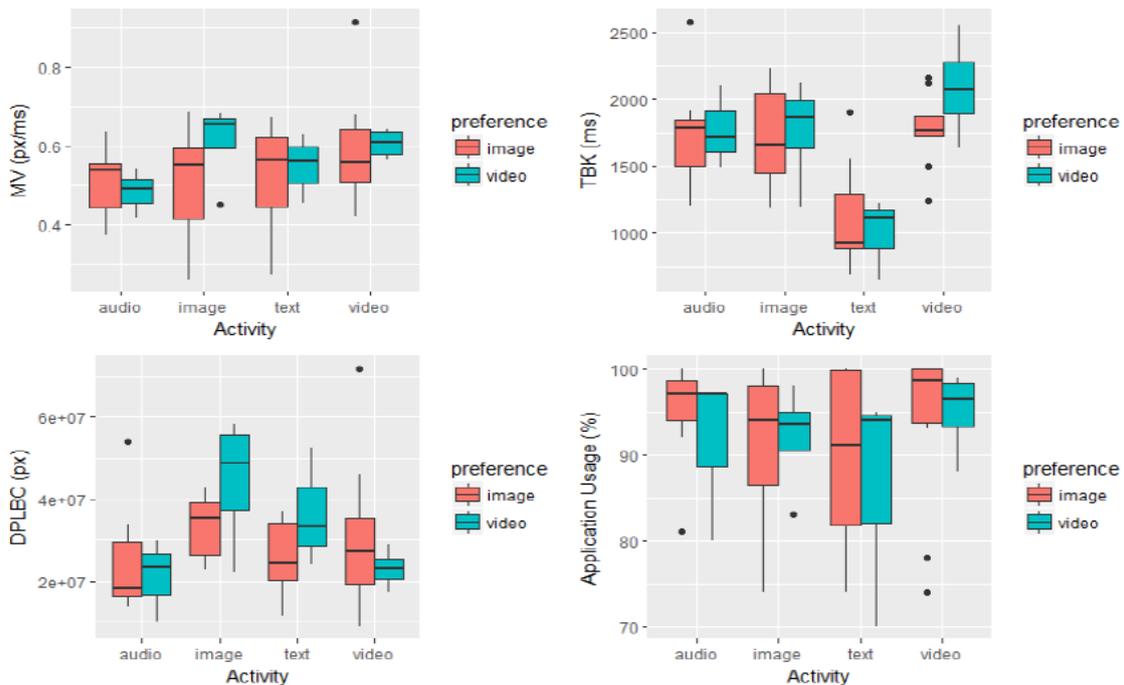


Figura 5.2 Actividad para las cuatro lecciones

### 5.3. Resultados de Aprendizaje

Los STI utiliza la tecnología y la adapta a la necesidad de los usuarios, en función de sus características y necesidades individuales. Así, ofrece tutorías individuales de beneficios en forma automática y autónoma, haciendo que cada usuario progrese a su propio ritmo. Aplicando el concepto de aprendizaje adaptativo en el STI, tendremos una poderosa herramienta de aprendizaje, desarrollando las habilidades vitales para lograr el éxito, ya sea en el estudio o en el trabajo. Uno de los verdaderos retos de STI es desarrollar un soporte totalmente interactivo.

### 5.3.1. Caso de Estudio 3 – Nivel de Aprendizaje

Para realizar este caso de estudio se utilizó una primera arquitectura del STI desarrollada para este fin, la cual se divide en 3 niveles: el nivel más bajo con los dispositivos que generan los datos; el nivel intermedio donde se ubica la nube STI, y el nivel más alto que representa el sistema cliente.

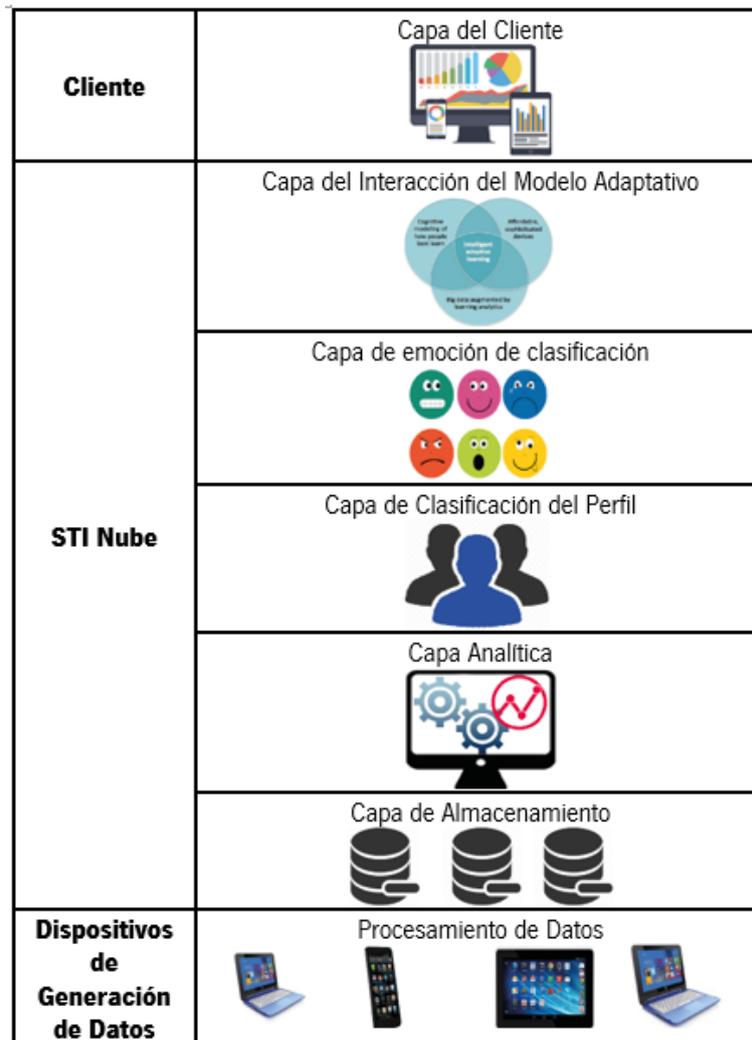


Figura 5.3 Framework del Sistema (Toala et al., 2018)

#### 5.3.1.1. Contexto

Pasando a la descripción del framework utilizado, en el nivel inferior (dispositivos de generación de datos), se encuentra una aplicación de registro que se ejecuta en segundo plano, guardando los eventos requeridos. Esta aplicación tiene un dispositivo (Dispositivos de Generación de Datos) que genera datos sin procesar que describen la interacción del usuario con el mouse y el teclado. Los datos generados de las mediciones y parámetros de proceso son calculados para

estimar la cantidad de datos en brutos. Los datos en brutos generados se almacenan localmente hasta que se sincronizan con el servidor web en la nube a intervalos regulares, generalmente cada 5 minutos. En esta capa, cada evento está codificado con la información requerida (es decir, marca de tiempo, coordenadas, tipo de clic, tecla presionada, etc.).

El nivel intermedio, llamado STI Nube, se subdivide en cinco capas: la capa de almacenamiento, la capa analítica, la capa de clasificación de perfil y la capa de clasificación de emociones. En la capa de almacenamiento, una base de datos MongoDB almacena los datos recibidos de los usuarios cuando están sincronizados. La base de datos MongoDB es un documento multiplataforma orientado a la base de datos que proporciona alto rendimiento, alta disponibilidad y escalabilidad perfecta. MongoDB, además de ser un mecanismo de almacenamiento de datos, también proporciona herramientas de procesamiento de datos nativas, como Map y Reduce and Aggregate pipeline. Ambos procedimientos pueden operar en una colección compartida (particionada en varias máquinas con escala horizontal).

En la capa analítica se desarrollaron algunos procesos para preparar los datos recibidos para cálculos posteriores, como la eliminación de pequeños errores. Por ejemplo, cuando se presiona continuamente la tecla de retroceso, este tipo de error se elimina del sistema. Por lo tanto, estos datos se evalúan de acuerdo con las métricas presentadas. Además, el sistema recibe esta información en tiempo real y calcula, a intervalos regulares, los valores de la biometría del comportamiento y la estimación del nivel general de atención de cada usuario.

Estas herramientas realizan análisis analíticos y estadísticos en tiempo real, siendo herramientas bastante poderosas. Este análisis es útil para consultas ad-hoc, informes agregados previamente y más. MongoDB proporciona un gran conjunto de operaciones de agregación que procesan registros de datos y devuelven resultados corregidos, lo que permite el uso de estas operaciones en la capa de datos para simplificar el código de la aplicación y limitar los requisitos de recursos.

En la capa de perfil de clasificación se interpretan todos los indicadores de usuario. A partir de los datos preprocesados y la construcción de los metadatos que apoyarán la toma de decisiones, el sistema clasificará el perfil de cada usuario. Cuando el sistema presenta un conjunto suficientemente grande de estudios de casos, es posible realizar clasificaciones con precisión. El clasificador, en tiempo real, clasificará los datos recibidos de los diferentes niveles de atención,

creando el perfil de aprendizaje de cada usuario. Con estos resultados, es posible obtener un perfil del estilo de aprendizaje.

La capa de clasificación de emociones tiene todos los datos sobre las emociones de los usuarios, así como la construcción de metadatos que apoyarán la toma de decisiones. El sistema clasificará con los datos obtenidos el perfil emocional del usuario y, cuando obtenga un alto conjunto de datos, permitirá la precisión en la clasificación de esas emociones. En este punto cabe recordar que los movimientos del mouse y los patrones de uso del teclado ayudan a predecir el estado emocional del usuario.

Finalmente, el sistema cliente es un front-end disponible en la capa del cliente, donde los usuarios pueden ver las tareas que deben completarse. Además, para los administradores del STI, la información sobre el nivel de atención del usuario se muestra en la capa del cliente. La interfaz gráfica de usuario consta de un módulo que permite la creación de gráficos (CHART) y la creación de equipos virtuales (SALA o Clases) para que el administrador pueda visualizar intuitivamente el comportamiento del usuario.

#### 5.3.1.2. Motivación

Actualmente, uno de los principales problemas relacionados con el aprendizaje es el nivel de atención que el alumno dedica en la ejecución de las tareas propuestas. El nivel de atención que cada usuario dedica a una determinada tarea se ve cada vez más afectado por la evolución del uso de Internet y las redes sociales. El uso de Internet y las redes sociales tienen un alto impacto en la atención ya que ofrecen información que cautiva al usuario, influyendo negativamente en el nivel de atención de los usuarios en la aplicación de tareas que realmente importan. Es fundamental mejorar el proceso de aprendizaje y resolver problemas que puedan ocurrir en entornos que utilizan nuevas tecnologías. La atención es un proceso complejo a través del cual un individuo puede analizar continuamente un conjunto de estímulos y, en un período de tiempo suficientemente corto, elegir uno en el que enfocarse. La mayoría de las personas solo pueden concentrarse en un grupo muy pequeño de estímulos a la vez.

#### 5.3.1.3. Objetivos

El proceso de características de extracción de datos comienza con la recopilación de eventos de interacción con dispositivos electrónicos. Esta recopilación se realiza mediante una aplicación desarrollada específicamente que se instala en cada computadora o laptop. Esta aplicación se

ejecuta en segundo plano, guardando los eventos necesarios sin requerir la intervención del usuario. Es, por tanto, un sistema no intrusivo y no invasivo.

Los sensores flexibles utilizan la información disponible de otras mediciones y parámetros de proceso para calcular y estimar sus valores. Los datos recopilados por la aplicación instalada en el dispositivo del usuario dan como resultado un registro del conjunto de eventos causado por la interacción del usuario con el mouse y el teclado. Sin embargo, esta información por sí sola es inútil, ya que no permite la extracción de información relevante e interpretativa. Es, por tanto, necesario procesar la información relacionada con los hechos registrados y transformar esa misma información en las características que se presentan para su estudio. Para procesar los eventos registrados se utilizó una aplicación que recibe como entrada los eventos registrados y transforma este conjunto de datos en parámetros que serán evaluados por las métricas definidas, que son el resultado de la aplicación como salida.

#### 5.3.1.4. Resultados

Con base en el marco descrito en la sección 5.3.1., el sistema propuesto monitorea y preprocesa un conjunto de características de comportamiento. A través de estas características, permite el desarrollo de una clasificación. El modelo es capaz de determinar la tarea en cuestión ejecutada por el usuario, dada la influencia de los comportamientos biométricos del usuario. Para este estudio, se seleccionaron con este fin la dinámica de pulsaciones de teclas, la dinámica del mouse y las métricas de rendimiento de la atención. Para monitorear el desempeño de los estudiantes, se recopiló información de comportamiento de un grupo de estudiantes durante tareas de alto nivel en un entorno estudiantil.

La salida del registro de datos de la Interacción con el mouse analiza el comportamiento del mouse y calcula sus datos biométricos de comportamiento. Estas características tienen como objetivo cuantificar el rendimiento individual del mouse, tomando como ejemplo el movimiento del mouse, que mayoritariamente no se mueve en línea recta entre dos puntos, siempre hay algún grado de curva.

La salida del registro de datos de la interacción del teclado analiza el comportamiento del teclado del individuo y calcula su biometría de comportamiento. Estas características tienen como objetivo cuantificar el rendimiento del teclado individual.

Las métricas de rendimiento de atención analizan las utilizando tareas y calcula su tiempo dedicado a cada tarea. Estas características tienen como objetivo cuantificar el desempeño individual de la tarea de trabajo. Cuando el alumno usa una aplicación que no coincide con ninguna de las reglas conocidas para una tarea específica, el nombre de la aplicación se guarda para que el profesor pueda decidir más tarde si se debe crear una nueva regla para ella. En la Figura 5.4 se muestra un ejemplo del resultado de este proceso.

Bienvenido a Microsoft Office 2010	 Mon 7 Dec 2015 08:58:23 GMT	2.71 s
Aplicaciones (Vista Protegida) – Microsoft Word	 Mon 7 Dec 2015 08:58:25 GMT	1.667 s
Registro	 Mon 7 Dec 2015 08:58:26 GMT	1.517 s
Iniciar	 Mon 7 Dec 2015 08:58:27 GMT	0.546 s
Aplicaciones (Vista Protegida) – Microsoft Word	 Mon 7 Dec 2015 08:58:28 GMT	1.437 s
Aplicaciones – Microsoft Word	 Mon 7 Dec 2015 08:58:32 GMT	3.886 s
MEO Cloud – Home – Google Chrome	 Mon 7 Dec 2015 08:58:33 GMT	1.088 s
Explorador de Windows	 Mon 7 Dec 2015 08:58:35 GMT	2.01 s
Iniciar	 Mon 7 Dec 2015 08:58:51 GMT	15.441 s
MEO Cloud – Home – Google Chrome	 Mon 7 Dec 2015 09:01:46 GMT	2.92015 min
Code.org – Star Wars: Constuyendo una Galaxia con Código – Google Chrome	 Mon 7 Dec 2015 09:03:24 GMT	1.63702 min
Microsoft Forefront Client Security	 Mon 7 Dec 2015 09:06:49 GMT	3.40668 min
Code.org – Star Wars: Constuyendo una Galaxia con Código – Google Chrome	 Mon 7 Dec 2015 09:07:02 GMT	13.398 s

*Figura 5.4 Secuencia de aplicaciones utilizadas por un alumno específico, con la fecha en la que el alumno pasó a otra aplicación y el tiempo que pasó interactuando con ella (Durães et al., 2019)*

Como se describe al inicio de este punto, la dinámica del mouse describe el comportamiento de un individuo en la computadora. Recientemente, se ha propuesto la dinámica del mouse como un comportamiento biométrico, bajo la premisa de que el comportamiento del mouse es relativamente único entre diferentes personas. En la Figura 5.5 Ejemplo de movimiento del Mouse

se presenta un ejemplo donde se compara la velocidad del mouse y la aceleración del mouse de dos grupos de usuarios para la misma actividad.

Otra forma de monitorear el comportamiento del usuario en la interacción persona-computadora (IHC) se basa en el análisis de pulsaciones de teclas que se presenta en Figura 5.6.

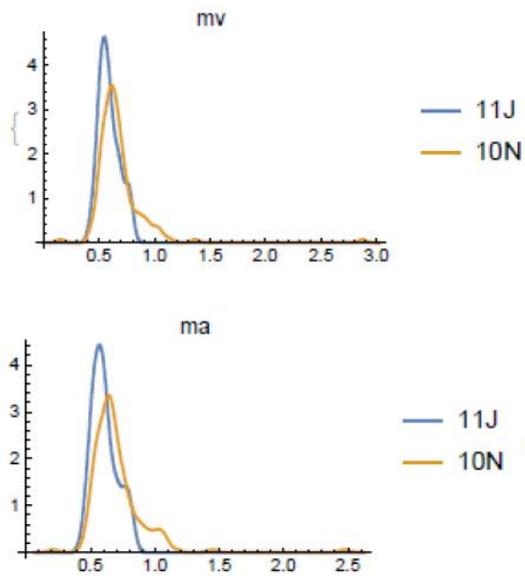


Figura 5.5 Ejemplo de movimiento del Mouse

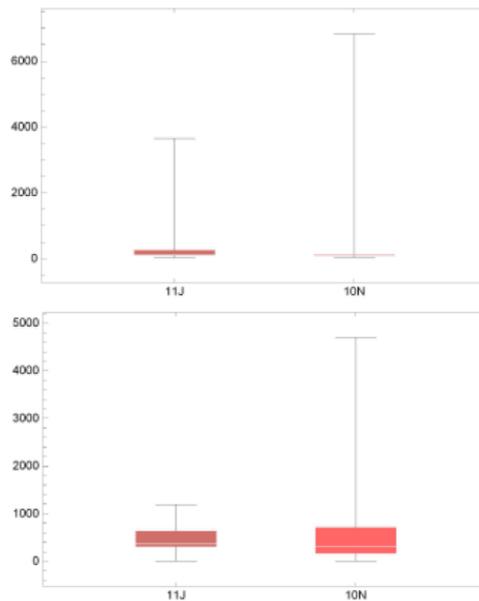


Figura 5.6 Ejemplo de interacción con el Teclado

Para cada estudiante, los datos almacenados se agregan, resumen y envían en intervalos de 5 minutos. Se utiliza el valor medio del rango. La Figura 5.7 Rendimiento en tiempo real: evolución de la interacción de un alumno

muestra el tipo de información que brindan estos recursos. En esta figura se presenta la evolución del desempeño de atención de un determinado usuario durante la realización de un examen utilizando dos de los recursos: duración del clic y velocidad del mouse. La duración del clic disminuye hasta aproximadamente la mitad del examen y luego aumenta hasta un máximo general. La velocidad del mouse aumenta aproximadamente al mismo punto en el tiempo y luego

comienza a disminuir. Ambas características apuntan a una mejora inicial en el rendimiento de la atención (clics más rápidos y mayor velocidad del mouse), seguida de degradación. Esta figura revela un efecto clásico del estrés: la atención tiende a mejorar durante algún tiempo después del inicio del estímulo estresante, después de experimentar una caída en la atención. Estas características permiten una vista individualizada de cómo el estrés afecta a cada usuario, y cada punto de interrupción, comportamiento o desempeño general de la atención se puede planificar bajo estrés.

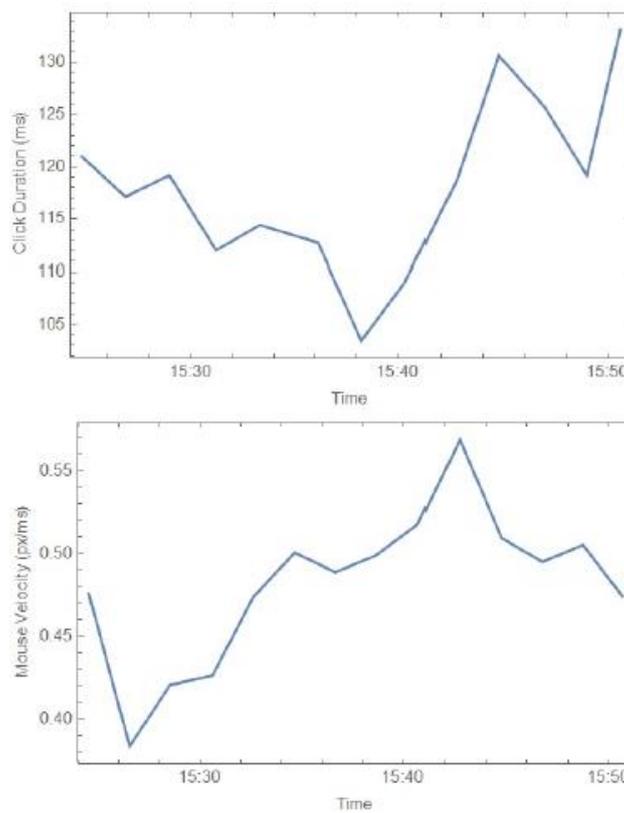


Figura 5.7 Rendimiento en tiempo real: evolución de la interacción de un alumno

El tipo de tarea (video, texto, imagen, audio), el nivel de atención del usuario y la evaluación de la tarea indicarán el estilo de aprendizaje de un usuario. En la Figura 5.8 Ejemplo Data set se presenta un ejemplo, en esto se puede observar que las actividades donde se usaron imagen y video (hay una atención del 50% y 85% obtuvieron una calificación de 6 y 8 respectivamente).

```
@relation learning

@attribute task {video,text,image,audio}
@attribute attention real
@attribute evaluation real

@data
video,50,6
text,45,5
image,85,8
audio,80,5
```

Figura 5.8 Ejemplo Data set

Con base al proceso de preparación mencionado, el siguiente paso se enfoca en la relevancia de las características analizadas para la predicción de la preferencia del método de aprendizaje del usuario. Con este paso de trabajo se pretende, por un lado, identificar y eliminar características innecesarias, irrelevantes y redundantes del conjunto de datos que no contribuyen a la predicción de la preferencia del método de aprendizaje del estudiante; por otro lado, verificar, dentro de las características relevantes, aquellas que presentan mayor relevancia, posibilitando ordenarlas por grado de importancia. Para este estudio, se ignoraron los métodos de filtro, ya que la falta de correlación directa entre una característica y la clase (es decir, la preferencia de aprendizaje del estudiante) no es evidencia suficiente de que la característica respectiva no es importante junto con otras características. Como tal, para la selección de las características más relevantes, se aplicó la técnica de Boruta (un método de envoltura construido alrededor del algoritmo de clasificación de Random Forest) junto con el proceso de validación cruzada de 10 veces (Durães et al., 2019).

#### 5.4. Emoción del Estudiante

Uno de los problemas del e-learning es que los estudiantes tienen que aplicarse de manera más responsable para no distraerse. A esto se suma que las características de la computadora para cada estudiante varían significativamente, y, por último, la interacción tradicional entre profesor, alumno y contenido se complica con la introducción de tecnología.

##### 5.4.1. Caso de Estudio 4 – Análisis de las Emociones

Un tutor inteligente tiene por objetivo principal hacer que las tecnologías a ser usadas sean adaptables a los usuarios, en función de sus características y necesidades propias. Por tanto, el tutor inteligente proporciona grandes beneficios personales de tutoría automática y autónoma,

creando que cada usuario progrese a su propio ritmo. Es importante aplicar el concepto de aprendizaje adaptativo e interactivo para convertirlo en una poderosa herramienta de aprendizaje.

Cada ser humano se ve afectado por su estado emocional al realizar alguna tarea, y es justamente los estudiantes que en determinados momentos tenga o sientan cierta presión lo que haría que su estado emocional cambie y afecte al resultado óptimo que desea obtener al realizar alguna tarea en específico, para realizar este caso de estudio se utilizó la arquitectura presentada y explicada en Figura 4.6.

#### 5.4.1.1. Contexto

Es importante indicar que los casos de estudios previamente aplicados se centraron en monitorear la atención de los estudiantes, para después elaborar un perfil del usuario a través del análisis de la interacción Humano Computador. También se descubre en estos casos que las personas tienden a interactuar de manera diferente con diferentes aplicaciones y diferentes contextos.

En la aplicación de este caso de estudio se agrega una nueva característica (analizar los estados emocionales) basada la respuesta de los alumnos y no tipo de evaluación con límite de tiempo en las respuestas. Para eso se creó un nuevo framework descrito en sección 4.5. Este analiza los estados emocionales del estudiante, la biometría de comportamiento y el estilo de aprendizaje, lo que constituye un mecanismo mucho más preciso y fiable para tutores inteligentes, sin dejar de lado las ventajas del sistema existente, es decir no intrusivo, liviano y transparente.

#### 5.4.1.2. Motivación

Los STI permiten una mejoría de la educación virtual. Y es justamente lo que motiva a diseñar, utilizar y aplicar las nuevas herramientas en la educación e-learning, para que ese tridente se beneficie de ellas.

Con la aplicación de este nuevo framework se presenta una solución con la aplicación de un Tutor Inteligente, que analice las emociones de una manera no intrusiva y no invasiva.

#### 5.4.1.3. Objetivos

Con base en el marco presentado en la Sección 4.4, se creó una Aplicación de Tutor Inteligente que se presenta en la Figura 5.9 Aplicación del Tutor Inteligente. Esta aplicación se aplicará a 160 estudiantes en dos fases con las mismas condiciones. La primera fase es una

evaluación periódica con varios niveles, donde el alumno no contaba con el tiempo para cada pregunta. La segunda fase tiene un recuento de tiempo para cada pregunta.



The image shows a registration form titled "BIENVENIDO TEACHOURSELF" for a "Test de Estadísticas Básica". The form includes a cartoon character of a person reading a book. The registration fields are: "Cédula:" with a text input field labeled "N° Cédula"; "Fecha de Nacimiento:" with a text input field labeled "YY-MM-DD"; "Edad:" with a text input field; "Localización:" with a dropdown menu labeled "Seleccionar Ciudad"; "Género:" with radio buttons for "Masculino" (selected) and "Femenino"; and "Nivel Actual:" with a dropdown menu. A "Registrarse" button is at the bottom.

Figura 5.9 Aplicación del Tutor Inteligente

Cuando el alumno abre la aplicación por primera vez, es necesario que se registre, ingresando los siguientes datos: fecha de nacimiento, sexo; curso y dirección. El sistema crea un perfil de estudiante a partir de estos datos. Cuando el alumno realiza una prueba, se puede indicar el nivel de dificultad de la prueba a realizar. La captura de datos se basa en la dinámica del mouse y el teclado para proponer un método completamente no intrusivo para evaluar la interacción estudiante-computadora. Cada computadora tiene un teclado, un mouse y un monitor. La actividad de evaluación comienza simultáneamente para todos los estudiantes, inician sesión en el software estándar con sus credenciales y comienza la actividad.

#### 5.4.1.4. Resultados

La Figura 5.10 Total de respuestas de los estudiantes

presenta una comparación de las respuestas reales para cada evaluación. La primera evaluación sin control de tiempo y la segunda evaluación con control de tiempo. Se puede observar

que en la fase sin tiempo la respuesta correcta es 34% y en la fase con tiempo es 35%. Parece que el estrés provocado por el tiempo no afectará los resultados.

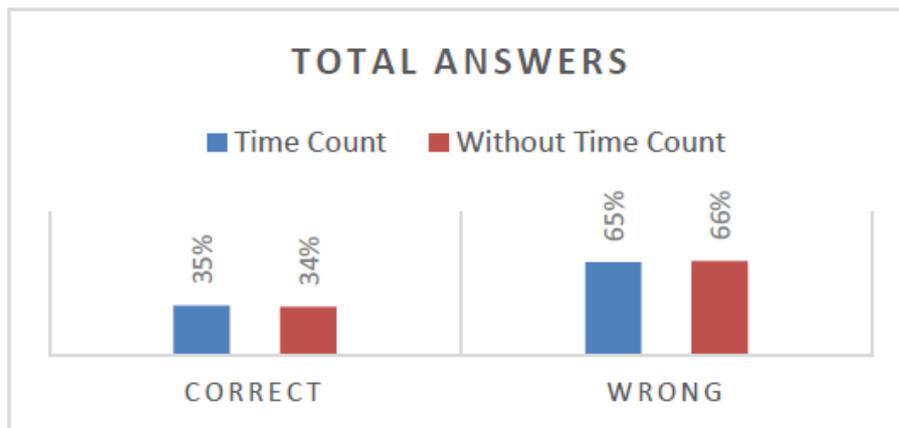


Figura 5.10 Total de respuestas de los estudiantes

Sin embargo, el número de veces que se presiona la tecla de retroceso en total es 162 veces cuando la evaluación tiene control de tiempo y cero sin control de tiempo. Además, el número de teclas presionadas con tiempo es 47891 y 12938 sin tiempo. Parece que los alumnos pretenden dar una respuesta completa cuando la evaluación tiene un control de tiempo.

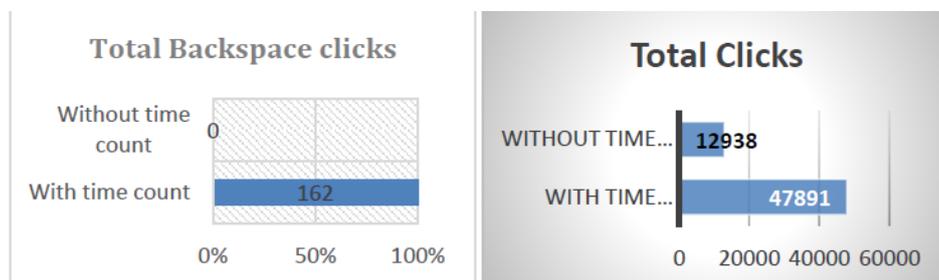


Figura 5.11 Total presión tecla de Retroceso y Total de Clicks

La Figura 5.12 muestra la emoción la cual está presente en el eje de las abscisas. El nivel 1 indica que la emoción es muy negativa; el nivel 2 indica emoción negativa; para el nivel 3, emoción neutra; nivel 4, emoción positiva y nivel 5, emoción muy positiva, así se observa que el 26% tiene emociones neutrales, el 23% tiene emoción positiva y el 11% es emoción muy positiva. Por otro lado, el 20% tiene emoción negativa y muy negativa, respectivamente.



Figura 5.12 Total presión tecla de Retroceso y Total de Clicks en la detección de emociones

## 5.5. Síntesis

Este capítulo muestra la evolución del trabajo durante estos cuatro años. Los estudios de caso se presentan por orden de aplicación. En el primer caso, se analizó la atención del estudiante en las actividades de aprendizaje para poder verificar los resultados obtenidos. Se seleccionó el modelo Random Forest para poder categorizar la actividad del estudiante. Una vez que se realizó la matriz de confusión con respecto al modelo seleccionado se observó que solo la actividad de video tuvo una clasificación errónea del 40%, por lo que se ve fue clasificada de manera errónea como una actividad de video. Con esto se ayuda a identificar con qué actividad el estudiante se siente mejor al desarrollar una actividad.

En el segundo caso de estudio se realizó sobre la interacción del mouse en una actividad que se dividió en 4 lecciones. Una vez cumplida las 4 lecciones se observó primero que lo obtenido en el primer caso de estudio fue confirmado en este, ya que el mejor nivel de atención se logró con la actividad que incluía videos. En segundo lugar, se logró detectar que el nivel más alto de interacción del mouse se la obtuvo en la actividad que incluían imágenes y video.

En el tercer caso de estudio referente al nivel de aprendizaje, se utilizó el primer framework justamente para medir la interacción del mouse y el teclado al realizar en este caso una lección en específico. Con esto se logró analizar el comportamiento del mouse calculando su biometría tales como distancias entre clic, movimientos, etc. En el teclado se tomó cuáles eran las teclas presionadas y la velocidad de la escritura, todo esto con el objetivo de entender el comportamiento ante actividades que exigen atención permanente del estudiante. Finalmente, en el cuarto caso de estudio se identifica la emoción que el estudiante. Para esto se aplicó un programa web (dos

lecciones una con tiempo y otra sin tiempo), que recoge la información, tanto de las respuestas a la lección, como la interacción de los dispositivos como mouse y teclado. Como resultados se obtuvo que hay una variación de porcentaje de error en respuestas correctas. En cuanto a las emociones presentadas se observó que el 26% tienen emociones neutrales, el 23% emoción positiva y el 20% emoción negativa.



# 6

---

## 6. Conclusiones y Trabajos Futuros

---

La tesis doctoral presentada, ha tenido como objetivo abordar cuestiones urgentes en el desarrollo de un sistema que monitoree y mejore los resultados de aprendizaje del estudiante. El clasificar la atención del estudiante si fue posible, se puede considerar que el marco propuesto de la arquitectura aborda las limitaciones identificadas al inicio del documento.

Este capítulo ofrece un análisis de las aportaciones de esta tesis doctoral a la luz de los objetivos planteados inicialmente. El contenido de este capítulo explica cómo la hipótesis de investigación formulada al inicio de la tesis fue validada por los resultados obtenidos. También se incluye un resumen de las actividades que se llevaron a cabo para difundir los resultados. El capítulo concluye con comentarios finales sobre el trabajo que se ha desarrollado hasta ahora y con consideraciones de trabajo futuro.

### 6.1. Contribuciones

De acuerdo con la hipótesis de estudio presentada en la Sección 1.4 y las preguntas de investigación presentadas en la Sección 1.5, ahora es posible presentar la contribución de cada una.

**RP1: Identificar el nivel cognitivo del alumno y sus preferencias en cuanto a su aprendizaje, para presentarle el mejor contenido para la interacción con el estudiante**

En el capítulo 3, subsección 3.4.1.2, se presentaron conceptos y caracterización de diferentes tipos de biometría conductual, a saber, biometría conductual no intrusiva y no invasiva. En la sección 4.1, se identificaron conceptos y caracterización de diferentes tipos de biometría del comportamiento. La respuesta a esta pregunta se explica en el capítulo 5, donde se presentó el estudio de caso, acerca de la Atención del usuario en las actividades de aprendizaje. En este

estudio fue posible determinar cada biometría de comportamiento de un usuario y la biometría de comportamiento global de la clase.

En esta sección 5.1 también se identificó la tarea relacionada con el trabajo de cada usuario en la clase y el tiempo que los estudiantes dedican a la tarea relacionada con el trabajo en la clase. El primer aporte, que se encuentra en la sección antes mencionada, fue la caracterización del concepto de atención y se definieron las características que influyen en la atención, con base en las conductas biométricas y la actividad realizada.

La principal conclusión que se obtuvo es que el comportamiento biométrico del estudiante y el desempeño de la actividad durante las lecciones es posible de obtener basado en un método no invasivo y no intrusivo.

**RP2: Capturar el estado emocional, sin utilizar métodos que incomoden al estudiante, utilizando técnicas de Computación afectiva.**

En el capítulo 3, sección 3.4. se presentó un concepto general y una caracterización de la biometría de las emociones. Además, se presentó una caracterización general de las emociones en el capítulo 4, subsección 4.5.2, se identificaron conceptos y caracterización de diferentes tipos de emociones.

La respuesta a esta pregunta se explica en el capítulo 5, especialmente:

- En la subsección 5.3.1. Caso de Estudio 3 – Nivel de Aprendizaje, se pudo obtener una caracterización de cómo monitorear el estado emocional del estudiante con un método no intrusivo y no invasivo, en esta misma subsección se muestra el resultado de la que se obtuvo de la interacción del mouse y teclado.

Las contribuciones específicas que se presentan en el capítulo 6 para esta pregunta son:

- Dinámica del mouse del alumno, en la subsección 6.3.3, donde se comparan la interacción del mouse comparando la evolución del rendimiento del estudiante cuando se tiene presión sobre la lección.

**RP3: Identificar los medios que sirvan para identificar el comportamiento, a través del análisis conductual y emocional en el momento que el estudiante interactúa en una disciplina determinada.**

De manera general en el capítulo 3, subsección 3.4.1.2., se realiza un estudio de cómo se puede monitorear el comportamiento de una persona a través de métodos no invasivos, tal como el mouse y el teclado.

En la subsección 5.3.1., se hace una breve explicación de lo útil de tener las características del estudiante para desarrollar un método de clasificación, para que se pueda determinar el tipo de tarea más adecuada al usuario, y justamente todo esto se logra a través de la interacción de los dispositivos de mayor interacción.

La respuesta a esta pregunta se explica en el capítulo 5, especialmente en la subsección 5.2.1, donde un caso de estudio presentó el comportamiento del usuario de la dinámica del mouse. En este caso, fue posible predecir el nivel de atención. Asimismo, en la sección 5.3 se presentó un caso de estudio de un nivel de atención de predicción.

**RP4: Detección de los estados emocionales de los estudiantes, que deben ser reconocidos para influir en el proceso de enseñanza-aprendizaje.**

Esta pregunta se la subdivide en 3 subrespuestas, las cuales son:

- La identificación de los estilos de aprendizaje durante las actividades realizadas por los estudiantes. En la sección 2.2. se observa como las emociones pueden influenciar en el estilo de aprendizaje y que además se puede obtener resultados efectivos en el proceso de aprendizaje. En la sección 3.4 se explica qué es lo que se puede obtener y como identificar el estilo de aprendizaje, para conocer cuáles son las actividades que pueden afectar a determinados estudiantes, sabiendo que no todos responden de la misma manera a las actividades propuestas.

Las contribuciones a esta pregunta son presentadas en la sección capítulo 5.3, con el diseño de un primer framework que estudia las características de comportamiento comparando estos resultados en un análisis comparativo de

machine learning. Como resultado final se observa que los mejores resultados se obtienen cuando el estudiante observa videos para resolver sus tareas.

- Crear un modelo adecuado de predicción y clasificación basado en estudios anteriores. En el capítulo 2, subsecciones 2.2.1 y 2.2.2 se presentan los fundamentos teóricos de las emociones. En el capítulo 4, sección 4.1, se muestra cómo algunas emociones afectan las interacciones del usuario de los dispositivos periféricos. La contribución se presenta en el capítulo 6, subsección 6.3.3, que describe cómo el estado emocional afecta la interacción del patrón del usuario.

La principal conclusión de este análisis es que es posible realizar predicciones y clasificaciones basadas en algunos afectos emocionales.

- Aplicar el modelo de predicción en plataformas de e-learning, para un seguimiento no invasivo. El Capítulo 4 presentó el modelo marco para las plataformas de aprendizaje e-learning. Este marco es una herramienta no invasiva y no intrusiva, que monitorea el comportamiento del usuario. En el capítulo 5, la subsección 5.1.1 explica el estudio de caso aplicado, el seguimiento de los estudiantes. El capítulo 6, subsección 6.3.3 están las principales contribuciones presentadas.

La principal conclusión en este punto es que es posible tener un modelo de predicción en plataformas de (e) learning con un seguimiento no invasivo.

Como complemento a este apartado, la Tabla 6.1 Respuesta a los Objetivos Iniciales muestra los objetivos de la tesis, tal y como se definieron en el apartado 1.5 y documenta los apartados donde se alcanzaron.

Tabla 6.1 Respuesta a los Objetivos Iniciales

Objetivos	Capítulo/Sección
<b>Objetivo 1:</b> Identificar el nivel cognitivo del alumno y sus preferencias en cuanto a su aprendizaje, para presentarle el mejor contenido para la interacción con el estudiante	Subsección 3.4.1.2 Análisis de Comportamiento, sección 4.1 1ª Implementación, subsección 5.1. Actividades de Aprendizaje
<b>Objetivo 2:</b> Capturar el estado emocional, sin utilizar métodos que incomoden al estudiante, utilizando técnicas de Computación afectiva	Sección 3.4. Emociones en STI, subsección 4.5.2. Emociones, subsección 5.3.1. Caso de Estudio 3 – Clasificación de Emociones, sección 6.3.3 - Emotion Analysis in Distance Learning (Análisis de las emociones en el aprendizaje a distancia).
<b>Objetivo 3:</b> Identificar los medios que sirvan para identificar el comportamiento, a través del análisis conductual y emocional en el momento que el estudiante interactúa en una disciplina determinada	Subsección 3.4.1.2. Análisis de Comportamiento, subsección 4.5.2. Interacción Persona-Ordenador, subsección 5.2.1. Caso de Estudio 2 – Interacción Humano Computador en el STI, sección 5.3. Resultados de Aprendizaje
<b>Objetivo 4:</b> Detección de los estados emocionales de los estudiantes, que deben ser reconocidos para influir en el proceso de enseñanza-aprendizaje.	Sección 2.2. Computación Afectivo, sección 3.4. Emociones en STI, subsección 5.3.3. Identificación del estilo de aprendizaje, subsección 2.2.1. Caracterización de las Emociones, subsección 2.2.2. Reconocimiento de Emociones, sección 4.1. 1ª Implementación Emociones, sección 6.4. Emotion Analysis in Distance Learning (Análisis de las emociones en el aprendizaje a distancia), 5.1.1. Caso de Estudio 1 – Atención del usuario en las actividades de aprendizaje, sección 6.3.3 Emotion Analysis in Distance Learning (Análisis de las emociones en el aprendizaje a distancia) y sección 6.3.4. Emotion and Intelligent Tutors (Emociones y Tutores Inteligentes)

## 6.2. Validación de la Hipótesis de Investigación

Para validar la hipótesis de investigación formulada en la Sección 1.4, es necesario demostrar cómo funciona el framework propuesto en el capítulo 4. Este framework (ver **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) monitorea el nivel de atención del alumno, la tarea relacionada con el trabajo en las actividades de aprendizaje (su compromiso), crea patrones de comportamiento de aprendizaje frecuentes para cada usuario y puede predecir las características del usuario.

El enfoque seguido en este proyecto se basa, por lo tanto, en la interacción con el mouse, en la dinámica de las pulsaciones de las teclas y en la tarea relacionada con el trabajo para proponer un método completamente no intrusivo para evaluar la atención en IHC. Mejorar el nivel de atención es una forma de mejorar el compromiso.

La arquitectura destaca las principales variaciones biométricas de comportamiento para cada actividad y se basa en un conjunto de atributos relevantes para el desarrollo de clasificadores de aprendizaje automático. El objetivo es mejorar el rendimiento de aprendizaje del estudiante y predecir su estilo de aprendizaje con la interacción del mouse y teclado, lo cual se pudo ver demostrado en el nivel emoción que tuvo en esa interacción.

Los resultados muestran que aún existen mecanismos que se pueden explorar para comprender mejor la compleja relación entre el comportamiento humano, la atención y la evaluación, que podrían utilizarse para la implementación de mejores estrategias de aprendizaje. Estos resultados pueden ser cruciales para mejorar los sistemas de aprendizaje en un entorno de (e) learning y para predecir la actividad conductual del estudiante, en función de su interacción con dispositivos tecnológicos.

### **6.3. Difusión de Resultados**

Desde el inicio de este proyecto de Doctorado y como se describe en la metodología de investigación de la Sección 1.6, los esfuerzos se dirigieron a: diseñar el prototipo e irlo mejorando, además de lograr un alto nivel de difusión científica a través de revistas, conferencias y otros medios.

Estas actividades se llevaron a cabo con el fin de consolidar conocimientos e intercambiar ideas. Con el fin de demostrar el alcance del trabajo desarrollado en esta tesis doctoral, en este apartado se describen las actividades de difusión de resultados.

### 6.3.1. Adaptive and intelligent mentoring to increase user attentiveness in learning activities (Tutoría adaptable e inteligente para aumentar la atención del usuario en las actividades de aprendizaje)

*Tabla 6.2 Artículo en la conferencia IBERAMIA2018.*

Título	Adaptative and intelligent to increase user attentiveness in learning activities
Autores	<b>Ramón Toala</b> , Filipe Gonçalves, Dalila Durães, Paulo Novais
Tipo de Publicación	Documento de Conferencia
Capítulo	Advances in Artificial Intelligence
Serie del Libro	Lecture Notes in Computer Science
Conferencia	Ibero-American Conference on Artificial Intelligence
Editorial	Springer, Cham
Volumen	11238
Páginas	145-155
Año	2018
Mes	Noviembre
DOI	<a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-03928-8_12">https://doi.org/10.1007/978-3-030-03928-8_12</a>
Edición Online ISBN	978-3-030-03928-8
Edición Impresa ISBN	978-3-030-03927-1
Estado	Publicado
SCImago Journal Rank (2019)	IF 0.427 (Q2 - COMPUTER SCIENCE (MISCELLANEOUS))
Indexado	Scopus, DBLP

Este trabajo propuso un enfoque no invasivo para un sistema de tutoría basado en el análisis biométrico del comportamiento del trabajo durante tareas de alto nivel. Más específicamente, el sistema monitorea y analiza la dinámica del mouse, la dinámica de las pulsaciones de teclas y la actividad de la tarea para determinar el desempeño del estudiante. Basado en la aplicación de varios modelos de aprendizaje automático de categorización, en la cual se monitorearon actividades basadas en video, imagen, texto y audio, se concluyó que el modelo Random Forest presentó el mejor rendimiento de categorización, con una tasa de éxito del 87,5%, donde los casos mal clasificados se centraron en la actividad de Video.

### 6.3.2. Human-Computer Interaction in Intelligent Tutoring Systems (Interacción Persona-Computadora en los Sistema de Tutoría Inteligente)

*Tabla 6.3 Artículo en la Conferencia International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence.*

Título	Human-Computer Interaction in Intelligent Tutoring Systems
Autores	<b>Ramón Toala</b> , Dalila Durães, Paulo Novais
Tipo de Publicación	Documento de Conferencia
Capítulo	Distributed Computing and Artificial Intelligence
Serie del Libro	Advances in Intelligent Systems and Computing
Conferencia	16th International Conference. DCAI 2019
Editorial	Springer, Cham
Volumen	1003
Páginas	55-59
Año	Junio

Mes	2019
DOI	<a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-23887-2_7">https://doi.org/10.1007/978-3-030-23887-2_7</a>
Edición Online ISBN	978-3-030-23887-2
Edición Impresa ISBN	978-3-030-23886-5
Estado	Publicado ( <b>Premio a la mejor Paper de Aplicación</b> )
SCImago Journal Rank (2019)	IF 0.427 (Q2 - COMPUTER SCIENCE (MISCELLANEOUS))
Indexado	Scopus, DBLP

En este artículo se propone un enfoque no invasivo en el desarrollo de un STI, basado en el análisis biométrico del comportamiento en las actividades del desarrollo de las clases, con algunos estilos de aprendizaje diferentes. El sistema monitorea y analiza la dinámica del mouse, la dinámica del teclado y las tareas para determinar el desempeño del usuario.

### 6.3.3. Intelligent tutoring system to improve learning outcomes (Sistema de Tutoría Inteligente para mejorar los resultados de aprendizaje)

*Tabla 6.4 Artículo en Revista Científica AI Communications.*

Título	Intelligent tutoring system improve learning outcomes
Autores	Dalila Durães, <b>Ramón Toala</b> , Filipe Gonçalves, Paulo Novais
Tipo de Publicación	Revista Científica
Nombre de la Publicación	AI Communications
Editorial	IOS Press
Año	2019
Mes	Julio
DOI	<a href="https://doi.org/10.3233/AIC-190624">https://doi.org/10.3233/AIC-190624</a>
Estado	Publicado
SCImago Journal Rank (2019)	Artificial Intelligence (Q3)
J.C.R. Factor de Impacto (2020)	0.351

Este artículo se centra en el diseño del modelo de usuario, por lo que la propuesta es de un enfoque innovador para diseñar un modelo de usuario que monitoree el comportamiento biométrico del usuario midiendo su nivel de atención durante las actividades de e-learning. Además, se presenta un modelo de categorización de aprendizaje automático que supervisa la actividad del usuario durante la sesión

### 6.3.4. Emotion and Intelligent Tutors (Emociones y Tutores Inteligentes)

*Tabla 6.5 Artículo en Conferencia World Conference on Information Systems and Technologies.*

Título	Emotion and Intelligent Tutors
Autores	<b>Ramón Toala</b> , Dalila Durães, Paulo Novais
Tipo de Publicación	Documento de Conferencia
Capítulo	Trends and Applications in Information Systems and Technologies
Serie del Libro	Advances in Intelligent Systems and Computing
Conferencia	World Conference on Information Systems and Technologies WorldCIST 2021

Editorial	Springer, Cham
Volumen	1365
Páginas	488-496
Año	2021
Mes	Abril
DOI	<a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-72657-7_47">https://doi.org/10.1007/978-3-030-72657-7_47</a>
Edición Online ISBN	978-3-030-72657-7
Edición Impresa ISBN	978-3-030-72656-0
Estado	Publicado

En este artículo, se presenta una solución con una Aplicación de Tutor Inteligente, que analizó las emociones de una manera no intrusiva y no invasiva.

### 6.3.5. Otras publicaciones

Además de las publicaciones incluidas en esta tesis (Capítulo 6), fue posible lograr otras publicaciones en revistas locales y reuniones científicas en los campos de Ciencias de la Computación, Inteligencia Artificial y Educación.

#### *Artículos Científicos*

- Durães, D., Toala, R., & Novais, P. (2020, September). Emotion analysis in distance learning. In International Conference on Interactive Collaborative Learning (pp. 629-639). Springer, Cham.
- J. Zambrano, R. Toala, O. Bolivar, J. Cruz, “Inclusión educativa virtual en estudiantes con discapacidades visuales”, Dominio de las Ciencias, (2017)
- J. Zambrano, R. Toala, G. Guerrero, J. Cañarte, “Las competencias digitales y su proceso de aprendizaje”, Revisa Cognosis, DOI: <https://doi.org/10.33936/cognosis.v1i3.252>, (2017)
- R. Toala, J. Cruz, J. Véliz, J. Zambrano, O. Bolivar, “Valoraciones de los entornos virtuales de aprendizaje en la comunidad Universitaria en Ecuador”, Polo del Conocimiento, DOI: 10.23857/pc.v2i5.111, (2017)

### 6.3.6. Participación de Eventos

- Convención Científica de la UTM, “Tutor Inteligente para mejorar los resultados de aprendizaje”, Segunda, Volumen 1, Número 1, ISBN: 978-9942-948-24-3, Ecuador (2018)
- XIII Congreso Internacional de Educación e Innovación, “Monitorização de Sistemas de Tutoria Inteligente uma abordagem”, Granada-España (2019)

### 6.3.7. Supervisión de Estudiantes

Durante el programa Doctoral, co-supervisé con éxito a un estudiante de maestría de la IPL, Instituto Politécnico de Leiria:

Concluida

- Claudia Alexandra Suasti López, “Satisfacción de los estudiantes de la enseñanza superior con las clases virtuales – un estudio en la Universidad Técnica de Manabí”, Escola Superior de Educação e ciencias sociais 26/09/2018.

### 6.4. Observaciones Finales y futuras consideraciones de Trabajo

Con esta tesis doctoral fue posible investigar algunos de los aspectos más interesantes del comportamiento de los usuarios. Los resultados obtenidos en los casos prácticos implementados muestran que esta área de acción tiene varias posibilidades de aplicación. Si bien en el trabajo actual el foco estuvo dirigido al proceso de aprendizaje, es claro que desde este ámbito será posible aplicar estas herramientas para la toma de decisiones. Posiblemente tendremos la necesidad de analizar el comportamiento en las tareas rutinarias de un usuario en su lugar de trabajo.

Durante este trabajo, se encontraron algunos obstáculos que no fueron superados por completo. Uno de ellos consistía en probar el sistema en escenarios reales. Este trabajo estuvo en primera instancia ser aplicado presencialmente en la Universidad Técnica de Manabí, pero por motivos de la pandemia COVID-19, se tuvo que realizar con los estudiantes en sus propias casas, trayendo consigo algunos problemas a causa del Internet, la energía eléctrica y posiblemente al estudiante en el desarrollo recibió ayuda de terceros, entre los aspectos negativos más importantes. Otro de los aspectos es garantizar la privacidad de los alumnos y el profesor no quiere perder su tiempo libre para preparar el material respectivo.

Además, como trabajo futuro, se pretende aplicar estos conocimientos a la construcción de un modelo de clasificación capaz de predecir, de forma eficaz y no intrusiva, las preferencias de aprendizaje del alumno en tiempo real. También se plantea la realización de este tipo de estudios con una población más amplia y en diferentes Instituciones educativas, lo cual posiblemente permitirá definir con mayor precisión, o incluso definir nuevos tipos de comportamiento de los usuarios.

Las posibilidades quedan abiertas a plataformas inteligentes que permitan analizar los perfiles de los usuarios, teniendo en cuenta sus características individuales, y proponer nuevas estrategias y acciones, todo esto se lograría brindándoles a los profesores el acceso a la información obtenida, lo que les permitirá; administrar de mejor manera las interacciones con sus estudiantes, es decir, señalando los casos más complejos por la falta de atención en tiempo real.



---

## BILIOGRAFÍA

---

- Abowd, G. D. (1999). Classroom 2000: An experiment with the instrumentation of a living educational environment. *IBM Systems Journal*, 38(4), 508–530.  
<https://doi.org/10.1147/sj.384.0508>
- Akker, J. V. den, Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). *Educational Design Research*. Routledge.
- Almeida, P. S., Novais, P., Costa, E., Rodrigues, M., & Neves, J. (2008). Artificial intelligence tools for student learning assessment in professional schools. *7th European Conference on E-Learning (ECEL 2008)*, 17–28.  
<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/19090>
- Andrade, F., Novais, P., Carneiro, D., Zeleznikow, J., & Neves, J. (2009). Using BATNAs and WATNAs in Online Dispute Resolution. In K. Nakakoji, Y. Murakami, & E. McCready (Eds.), *New Frontiers in Artificial Intelligence* (pp. 5–18). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-14888-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14888-0_2)
- Anglin, G. J., & Morrison, G. R. (2000). An Analysis of Distance Education Research: Implications for the Instructional Technologist. *Quarterly Review of Distance Education*, 1(3), 189–194.
- Ariza Ordóñez, G. I., & Ocampo Villegas, H. B. (2005). EL ACOMPAÑAMIENTO TUTORIAL COMO ESTRATEGIA DE LA FORMACIÓN PERSONAL Y PROFESIONAL: UN ESTUDIO BASADO EN LA EXPERIENCIA EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR. *Universitas Psychologica*, 4(1), 31–42.
- Augusto, J. C., & Cook, D. J. (2007). Ambient Intelligence: Applications in society and opportunities for AI. In *Tutorial Lecture Notes delivered at 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence. IJCAI, Hyderabad, India*.

- Augusto, J., & McCullagh, P. (2007). Ambient Intelligence: Concepts and applications. *Computer Science and Information Systems*, 4(1), 1–27. <https://doi.org/10.2298/CSIS0701001A>
- Baldassarri Santalucía, S. (2016). Computación afectiva: Tecnología y emociones para mejorar la experiencia del usuario. *Bit & Byte*, año 2, no. 3. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53441>
- Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1–14.
- Bedekar, M., Saini, T., & Zahoor, S. (2016, August 12). *Analysing Human Feelings by Affective Computing—A Survey*. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2016.7860017>
- Bell, R. F. (2017). El Desarrollo de los Procesos Sustantivos de la Educación Superior Ecuatoriana ante el Reto de la Inclusión Educativa. *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 11(1), 199–212. <https://doi.org/10.4067/S0718-73782017000100012>
- Bhardwaj, N., & Dixit, M. (2016). A Review: Facial Expression Detection with its Techniques and Application. *International Journal of Signal Processing. Image Processing and Pattern Recognition*, 9(6), 149–158.
- Bhise, P. R., Kulkarni, S. B., & Aldhaferi, T. A. (2020). Brain Computer Interface based EEG for Emotion Recognition System: A Systematic Review. *2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, 327–334. <https://doi.org/10.1109/ICIMIA48430.2020.9074921>
- Blanchette, I., & Richards, A. (2010). The influence of affect on higher level cognition: A review of research on interpretation, judgement, decision making and reasoning. *Cognition & Emotion - COGNITION EMOTION*, 24, 561–595. <https://doi.org/10.1080/02699930903132496>

- Bloom, B. S. (1984). The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring. *Educational Researcher*, 13(6), 4–16.  
<https://doi.org/10.3102/0013189X013006004>
- Borges Sáiz, F. (2005). The frustrations of online students. Causes and preventative actions. *Digithum*, 0(7). <https://doi.org/10.7238/d.v0i7.536>
- Bosquez, V., Sanz, C., Baldassarri, S., Ribadeneira, E., Valencia, G., Barragan, R., Camacho, Á., Shauri-Romero, J., & Camacho-Castillo, L. A. (2018). LA COMPUTACIÓN AFECTIVA: EMOCIONES, TECNOLOGÍAS Y SU RELACIÓN CON LA EDUCACIÓN VIRTUAL. *Revista de Investigación Talentos*, 5(1), 94–103.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1999). *Affective Norms for English Words (ANEW): Instruction Manual and Affective Ratings*. 49.
- Cala Wilches, O. E. (2014). *Estudio comparativo del funcionamiento de sistemas tutores inteligentes orientados a la enseñanza de los fundamentos de control automático* [Masters, Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/49152/>
- Calvo, R. A., Member, S., & D’Mello, S. (2010). Affect Detection: An Interdisciplinary Review of Models, Methods, and Their Applications. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1(1), 18–37. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2010.1>
- Carneiro, D., & Novais, P. (2017). Quantifying the effects of external factors on individual performance. *Future Generation Computer Systems*, 66, 171–186.  
<https://doi.org/10.1016/j.future.2016.05.019>
- Carneiro, D., Novais, P., Pêgo, J. M., Sousa, N., & Neves, J. (2015). Using Mouse Dynamics to Assess Stress During Online Exams. In E. Onieva, I. Santos, E. Osaba, H. Quintián, & E. Corchado (Eds.), *Hybrid Artificial Intelligent Systems* (pp. 345–356). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19644-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19644-2_29)
- Carneiro, D., Pimenta, A., Gonçalves, S., Neves, J., & Novais, P. (2016). Monitoring and improving performance in human–computer interaction. *Concurrency and*

- Computation: Practice and Experience*, 28(4), 1291–1309.  
<https://doi.org/10.1002/cpe.3635>
- Castillo, É. Y., & García, N. N. (2017). *Evolución de la educación superior a distancia: Desafíos y oportunidades para su gestión*. 26.
- Cataldi, Z., & Lage, F. J. (2009). Sistemas tutores inteligentes orientados a la enseñanza para la comprensión. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 0(28), 108.  
<https://doi.org/10.21556/edutec.2009.28.456>
- Causa, E., & Sosa, A. (2007). La computación afectiva y el arte interactivo. *RIM*, 2(2), 52–60.
- Cesteros, A. F.-P. (2009). Las plataformas e-learning para la enseñanza y el aprendizaje universitario en Internet. *Las Plataformas de Aprendizaje. Del Mito a La Realidad*, C. López Alonso, M. Matesanz Del Barrio, C. López Alonso, and M. Matesanz Del Barrio, Eds. Madrid: Biblioteca Nueva, 45–73.
- Cheong, C., Cheong, F., & Filippou, J. (2013). Using Design Science Research to Incorporate Gamification into Learning Activities. *PACIS*, 156.
- Clancey, W., & Soloway, E. (1990). Artificial Intelligence and Learning Environments: Preface. *MIT / Elsevier Science Publishers, Amsterdam, the Netherlands*, 1–6.
- Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.
- Cohen, P. A., Kulik, J. A., & Kulik, C.-L. C. (1982). Educational Outcomes of Tutoring: A Meta-analysis of Findings. *American Educational Research Journal*, 19(2), 237–248.  
<https://doi.org/10.3102/00028312019002237>
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15–42.  
[https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2)

Cook, D., Augusto Wrede, J., & Jakkula, V. (2009). Review: Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, 5, 277–298.

<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2009.04.001>

Craciunas, S., & Elsek, I. (2009). *The standard model of an e-learning platform: Vol. Chapter 2*.

Crowder, N. A. (1962). Intrinsic and extrinsic programming. *Programmed Learning and Computer-Based Instruction*, 58–66.

Dai, W., Duch, W., Abdullah, A. H., Xu, D., & Chen, Y.-S. (2015, November 16). *Recent Advances in Learning Theory* [Editorial]. Computational Intelligence and Neuroscience; Hindawi.

<https://doi.org/10.1155/2015/395948>

Dalgleish, T., & Power, M. (2000). *Handbook of Cognition and Emotion*. John Wiley & Sons.

De Morales Ibáñez, M., & Alzina, R. (2006). *EVALUACIÓN DE UN PROGRAMA DE EDUCACIÓN EMOCIONAL PARA LA PREVENCIÓN DEL ESTRÉS PSICOSOCIAL EN EL CONTEXTO DEL AULA*. 12.

<https://web.b.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authype=crawler&jrnl=11347937&AN=24127126&h=5rqbXwkGhmCMUK0af38A1Rogs29cluxdB1sG40HntlXoEntFtzWBrodsTn7KqcsAALOBbOgfz1Uh%2fW3cAt70CA%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authype%3dcrawler%26jrnl%3d11347937%26AN%3d24127126>

Durães, D. (2018). *Attentiveness and Engagement in Learning Activities* [Phd, E.T.S. de Ingenieros Informáticos (UPM)]. <http://oa.upm.es/53795/>

Durães, D., Carneiro, D., Bajo, J., & Novais, P. (2016a). *Using Computer Peripheral Devices to Measure Attentiveness* (pp. 147–155). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-40159-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40159-1_12)

Durães, D., Carneiro, D., Bajo, J., & Novais, P. (2016b). *Supervising and Improving Attentiveness in Human Computer Interaction* (pp. 255–264). <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-690-3-255>

- Durães, D., Toala, R., Gonçalves, F., & Novais, P. (2019). Intelligent tutoring system to improve learning outcomes. *AI Communications*, 32(3), 161–174. <https://doi.org/10.3233/AIC-190624>
- Ekman, P. (1992). *An argument for basic emotions*. *Cognition & emotion*, 6(3-4), 169–200.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1969). *The Repertoire of Nonverbal Behavior: Categories, Origins, Usage, and Coding*. De Gruyter Mouton. <https://www.degruyter.com/view/book/9783110880021/10.1515/9783110880021.57.xml>
- Escalante, Z., Castillo, Á., & Duarte, M. (2012). EL APRENDIZAJE AFECTIVO EN LA EDUCACIÓN UNIVERSITARIA VIRTUAL VENEZOLANA. *REVECITEC*, 2(2), 35–48.
- Fasel, B., & Luetttin, J. (2003). Automatic facial expression analysis: A survey. *Pattern Recognition*, 36(1), 259–275. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(02\)00052-3](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(02)00052-3)
- Gal, C. L., Martin, J. E., Lux, A., & Crowley, J. L. (2001). Smart Office: Design of an Intelligent Environment. *IEEE Intell. Syst.* <https://doi.org/10.1109/5254.941359>
- Gonçalves, F., Carneiro, D., Pêgo, J., & Novais, P. (2019). Monitoring Mental Stress Through Mouse Behaviour and Decision-Making Patterns. In P. Novais, J. J. Jung, G. Villarrubia González, A. Fernández-Caballero, E. Navarro, P. González, D. Carneiro, A. Pinto, A. T. Campbell, & D. Durães (Eds.), *Ambient Intelligence – Software and Applications – 9th International Symposium on Ambient Intelligence* (pp. 40–47). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01746-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01746-0_5)
- González, M. Á., & Justel, J. Á. (2015). La tutoría universitaria: Del modelo actual a un modelo integral. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 18(2), 125–142. <https://doi.org/10.6018/reifop.18.2.219671>
- Guillen, A. G., Gómez, H. A., & López, R. R. (2017). Modelo de un sistema tutor inteligente para el desarrollo del pensamiento computacional. *Journal CIM Vol*, 5(2).

- Gulson, K., Murphie, A., Taylor, S., & Sellar, S. (2018). *Education, work and Australian society in an AI world*. <https://apo.org.au/node/198306>
- Gunes, H., & Piccardi, M. (2007). Bi-modal emotion recognition from expressive face and body gestures. *Journal of Network and Computer Applications*, 30(4), 1334–1345.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2006.09.007>
- Hopkins, K. D. (1998). *Educational and Psychological Measurement and Evaluation. Eighth Edition*. Allyn & Bacon, A Viacom Company, 160 Gould Street, Needham Heights, MA 02194; Internet: <http://www.>
- Informe UNESCO: Situación Educativa de América Latina y el Caribe: Hacia la educación de calidad para todos al 2015. (2015). *Fundación Emprender Futuro*.  
<https://emprenderfuturo.org/publicaciones/informe-unesco-situacion-educativa-de-america-latina-y-el-caribe-hacia-la-educacion-de-calidad-para-todos-al-2015/>
- Jonassen, D., & Wang, S. (1993). The Physics Tutor: Integrating Hypertext and Expert Systems. *Journal of Educational Technology Systems*, 22(1), 19–28.
- Juutinen, S., & Saariluoma, P. (2010). Emotional Obstacles for E-Learning—A User Psychological Analysis. *European Journal of Open, Distance and E-Learning*.  
<https://eric.ed.gov/?id=EJ911754>
- Kameas, A., Mavrommati, I., & Markopoulos, P. (2004). Computing in tangible: Using artifacts as components of ambient intelligence environments. *Ambient Intelligence : The Evolution of Technology, Communication and Cognition towards the Future of Human-Computer Interaction*, 121–142.
- Kegel, C. A. T., & Bus, A. G. (2012). Online tutoring as a pivotal quality of web-based early literacy programs. *Journal of Educational Psychology*, 104(1), 182–192.  
<https://doi.org/10.1037/a0025849>
- Keltner, D., & Ekman, P. (2000). *Emotion: An overview. Encyclopedia of psychology* (Vol. 3). Encyclopedia of psychology.

- Khurana, I. (2014). *Textbook of Human Physiology for Dental Students*. Elsevier Health Sciences.
- Kleinginna, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5(4), 345–379.  
<https://doi.org/10.1007/BF00992553>
- Lang, P., Bradley, M., & Cuthbert., B. (1997). International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings. *NIMH Center for the Study of Emotion and Attention*, 1, 39–58.
- Lee, H., Young Sang Choi, Sunjae Lee, & Park, I. P. (2012). Towards unobtrusive emotion recognition for affective social communication. *2012 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, 260–264.
- Lee, J.-K., & Lee, W.-K. (2008). The relationship of e-Learner's self-regulatory efficacy and perception of e-Learning environmental quality. *Computers in Human Behavior*, 24(1), 32–47. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2006.12.001>
- Leventhal, H., & Scherer, K. (1987). The Relationship of Emotion to Cognition: A Functional Approach to a Semantic Controversy. *Cognition and Emotion*, 1(1), 3–28.  
<https://doi.org/10.1080/02699938708408361>
- Lozano Monasor, E. (2020). *Detección facial de emociones orientada a mejorar la calidad de vida y cuidado de personas mayores en ambientes inteligentes*.  
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/23320>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., Corcier, L. B., Pearson (Firm), & University College, L. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*.
- Machado, M. C. M., Suárez, F. E. T., González, M. de las N. L., & Lozano, N. V. A. (2018). El sistema de tutorías en la Universidad. Estudio de caso de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). *Killkana sociales: Revista de Investigación Científica*, 2(4), 127–130.

- Maffía, D. H. (2005). Conocimiento y emoción. *Arbor*, 181(716), 515–521.  
<https://doi.org/10.3989/arbor.2005.i716.408>
- McDaniel, B., D’Mello, S., King, B., Chipman, P., & Tapp, K. (2007). *Facial Features for Affective State Detection in Learning Environments*. 7.
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2013). *Conducting Educational Design Research*. Routledge.
- Melamed, A. F. (2016). *Las teorías de las emociones y su relación con la cognición: Un análisis desde la filosofía de la mente*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/106246>
- Méndez Pozo, G. (2008). *Una arquitectura software basada en agentes y recomendaciones metodológicas para el desarrollo de entornos virtuales de entrenamiento con tutoría inteligente* [Phd, Facultad de Informática (UPM)]. <http://oa.upm.es/1276/>
- Molina, Y., Pascuas, Y., & Millán, E. (2015). Sistemas Tutores Inteligentes como apoyo en el proceso de aprendizaje. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 25–44.  
<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.redes.2015.1.a02>
- Montañés, M. C., & de Valencia, U. (2005). *PSICOLOGÍA DE LA EMOCIÓN*: 3, 34.
- Montenegro, H., & Fuentealba, R. (2010). El formador de futuros El formador de futuros profesionales: Una nueva forma de comprender la Docencia en la educación superior Universitaria. *Calidad en la Educación*, 0(32), 254–267.  
<https://doi.org/10.31619/caledu.n32.159>
- mundo, E. T.-N. del E. y del. (2016, November 10). *La deserción universitaria bordea el 40%*. El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo.  
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/la-desercion-universitaria-bordea-el-40>
- Murtaza, M., Sharif, M., Raza, M., & Shah, J. H. (2013). *Analysis of Face Recognition under Varying Facial Expression: A Survey*. 10(4), 11.
- Nieto, N. G. (2008). *La función tutorial de la Universidad en el actual contexto de la Educación Superior*. 29.

- Novais, P., & Carneiro, D. (2016). The role of non-intrusive approaches in the development of people-aware systems. *Progress in Artificial Intelligence*, 5.  
<https://doi.org/10.1007/s13748-016-0085-1>
- Ortony, A., Clore, G., & Collins, A. (1990). *The Cognitive Structure of Emotion* (Vol. 18).  
<https://doi.org/10.2307/2074241>
- Osgood, C. E., May, W. H., Miron, M. S., & Miron, M. S. (1975). *Cross-cultural Universals of Affective Meaning*. University of Illinois Press.
- Pacheco, N. E., & Berrocal, P. F. (2004). La inteligencia emocional: Métodos de evaluación en el aula. *Revista Iberoamericana de Educación*, 34(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.35362/rie3412887>
- Pang, B., & Lee, L. (2006). Pang, Bo, and Lillian Lee. "Foundations and Trends® in Information Retrieval." *Foundations and Trends® in Information Retrieval*. 1(2), 91–231.
- Partala, T., & Surakka, V. (2003). Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59, 185–198.  
[https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00017-X)
- Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77.
- Pennebaker, J. W., Booth, R., & Francis, M. E. (2007). *Linguistic Inquiry and Word Count (LIWC2007)*. <https://researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/18109>
- Peralta, M. C., Martínez, J. V., Arias, E. T., & Intriago, K. P. (2017). Sistema para las tutorías académicas en las universidades ecuatorianas. Caso Universidad Estatal de Milagro. *INNOVA Research Journal*, 2(6), 100–111.  
<https://doi.org/10.33890/innova.v2.n6.2017.219>
- Picard, R. W. (1997). *Affective Computing*. MIT Press.

- Picard, R. W., Papert, S., Bender, W., Blumberg, B., Breazeal, C., Cavallo, D., Machover, T., Resnick, M., Roy, D., & Strohecker, C. (2004). Affective Learning—A Manifesto. *BT Technology Journal*, 22(4), 253–269.  
<https://doi.org/10.1023/B:BTTJ.0000047603.37042.33>
- Regan, K. (2019). Emotion and e-learning. *Online Learning*, 7.  
<https://doi.org/10.24059/olj.v7i3.1847>
- Rincon, J. A., Costa, A., Villarrubia, G., Julian, V., & Carrascosa, C. (2018). Introducing dynamism in emotional agent societies. *Neurocomputing*, 272, 27–39.  
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.03.091>
- Ringeval, F., Amiriparian, S., Eyben, F., Scherer, K., & Schuller, B. (2014). Emotion Recognition in the Wild: Incorporating Voice and Lip Activity in Multimodal Decision-Level Fusion. *ICMI*. <https://doi.org/10.1145/2663204.2666271>
- Rivière, Á. (1991). *Orígenes históricos de la psicología cognitiva: Paradigma simbólico y procesamiento de la información*. Universitat de Barcelona. Facultat de Psicologia.  
<https://artes-y-ciencias.campusvirtual.ucasal.edu.ar/course/view.php?id=67>
- Rodrigues, M., Novais, P., & Fdez-Riverola, F. (2012, October 1). *An Approach to Assessing Stress in eLearning Students*.
- Rodrigues, M., Novais, P., & Santos, M. F. (2005). *Future challenges in intelligent tutoring systems: A framework*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- Rodríguez, A. G., & Caro, E. M. (2003). Estilos de Aprendizaje y e-learning. Hacia un mayor rendimiento académico. *Revista de Educación a Distancia*, 0(7).  
<http://revistas.um.es/red/article/view/25411>
- Rodríguez Espinar, S., & Álvarez González, M. (2012). *Manual de tutoría universitaria: Recursos para la acción*. Editorial Octaedro : Universitat de Barcelona, Institut de Ciències de l'Educació. <http://www.digitaliapublishing.com/a/19213>

- Ruiz, L., Martínez, G. T., & Céspedes, D. G. (2018). Desafíos de la Educación Superior. Consideraciones sobre el Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 3(2), 8–16.  
<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n2.2018.617>
- Russell, J. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161–1178.
- Saha, D., & Mukherjee, A. (2003). Pervasive computing: A paradigm for the 21st century. *Computer*, 36(3), 25–31. <https://doi.org/10.1109/MC.2003.1185214>
- Santos, D. C. V.-B. dos, & Falcão, T. P. (2017). Acompanhamento de alunos em ambientes virtuais de aprendizagem baseado em sistemas tutores inteligentes. *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, 28(1), 1267. <https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2017.1267>
- Sebe, N., Cohen, I., & Huang, T. S. (2005). Multimodal emotion recognition. In *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision* (pp. 387–409). WORLD SCIENTIFIC.  
[https://doi.org/10.1142/9789812775320\\_0021](https://doi.org/10.1142/9789812775320_0021)
- Shaver, P., Schwartz, J., Kirson, D., & O'Connor, C. (1987). Emotion knowledge: Further exploration of a prototype approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52(6), 1061–1086. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.52.6.1061>
- Shen, W., Lang, S., & Wang, L. (2005). iShopFloor: An Internet-Enabled Agent-Based Intelligent Shop Floor. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C (Applications and Reviews)*, 35, 371–381. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2004.843224>
- Sheridan, S. L. (1983). Generative Systems versus Copy Art: A Clarification of Terms and Ideas. *Leonardo*, 16(2), 103–108. <https://doi.org/10.2307/1574794>
- Silva, M. F. (2014). *Student monitoring/counseling in e-learning platforms*  
 [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidade de Vigo].  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=124848&info=resumen&idioma=SPA>

- Silva Rodrigues, M. F. (2014). *Student monitoring/counseling in e-learning platforms*.  
<http://www.investigobiblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/215>
- Southgate, E., Blackmore, K., Pieschl, S., Grimes, S., McGuire, J., & Smithers, K. (2019). *Artificial Intelligence and emerging technologies in schools: Research report*.  
<https://apo.org.au/node/254301>
- Tanner Jackson, G., & Graesser, A. C. (2006). Aplicaciones del diálogo humano de tutoría al AutoTutor: Un sistema inteligente de tutoría. *Revista Signos*, 39(60), 31–48.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-09342006000100002>
- Toala, R., Durães, D., & Novais, P. (2019). Human-Computer Interaction in Intelligent Tutoring Systems | SpringerLink. *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence*, 52–59.
- Toala, R., Durães, D., & Novais, P. (2021). Emotions and Intelligent Tutors. In Á. Rocha, H. Adeli, G. Dzemyda, F. Moreira, & A. M. Ramalho Correia (Eds.), *Trends and Applications in Information Systems and Technologies* (pp. 488–496). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72657-7\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72657-7_47)
- Toala, R., Gonçalves, F., Durães, D., & Novais, P. (2018). Adaptive and Intelligent Mentoring to Increase User Attentiveness in Learning Activities. *Advances in Artificial Intelligence - IBERAMIA 2018*, 145–155. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03928-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03928-8_12)
- Tsiamyrtzis, P., Dowdall, J., Shastri, D., Pavlidis, I. T., Frank, M. G., & Ekman, P. (2007). Imaging Facial Physiology for the Detection of Deceit. *International Journal of Computer Vision*, 71(2), 197–214. <https://doi.org/10.1007/s11263-006-6106-y>
- Tudela, V., & Ernesto, H. (2015). *Una aproximación teórica a la deserción estudiantil universitaria*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/344275>
- Urretavizcaya Loinaz, M. (2001). Sistemas inteligentes en el ámbito de la educación. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 5(12).

- VanLehn, K. (2011). *The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems*. 46(4), 197–221.  
<https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>
- Waldner, J.-B. (2007). *Nano-informatique et intelligence ambiante de Jean-Baptiste Waldner: Fine (2007) | ROBIN SUMMERS BOOKS LTD*. <https://www.iberlibro.com/Nano-informatique-intelligence-ambiante-Jean-Baptiste-Waldner-Hermes/30073502034/bd>
- Watson, D., Wiese, D., Vaidya, J., & Tellegen, A. (1999). The two general activation systems of affect: Structural findings, evolutionary considerations, and psychobiological evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5), 820.
- Weiser, M. (1991). *The Computer for the 21st Century*. 265(3), 94–104.
- Weiser, M. (1993). Hot topics-ubiquitous computing. *Computer*, 26(10), 71–72.  
<https://doi.org/10.1109/2.237456>
- Wioleta, S. (2013). Using physiological signals for emotion recognition. *2013 6th International Conference on Human System Interactions (HSI)*, 556–561.  
<https://doi.org/10.1109/HSI.2013.6577880>
- Wu, C.-H., Lin, J.-C., & Wei, W.-L. (2014). Survey on audiovisual emotion recognition: Databases, features, and data fusion strategies. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 3. <https://doi.org/10.1017/ATSIP.2014.11>
- Wu, S., Falk, T. H., & Chan, W.-Y. (2011). Automatic speech emotion recognition using modulation spectral features. *Speech Communication*, 53(5), 768–785.  
<https://doi.org/10.1016/j.specom.2010.08.013>
- Yi, M. Y., & Hwang, Y. (2003). Predicting the use of web-based information systems: Self-efficacy, enjoyment, learning goal orientation, and the technology acceptance model. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(4), 431–449.  
[https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00114-9](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00114-9)

- Yuen, P., Hong, K., Chen, T., Tsitiridis, A., Kam, F., Jackman, J., James, D., Richardson, M., Williams, L., Oxford, W., Piper, J., Thomas, F., & Lightman, S. (2009). Emotional physical stress detection and classification using thermal imaging technique. *3rd International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention (ICDP 2009)*, 1–6.  
<https://doi.org/10.1049/ic.2009.0241>
- Zhou, X., Dai, G., Huang, S., Sun, X., Hu, F., Hu, H., & Ivanović, M. (2015, October 19). *CyberPsychological Computation on Social Community of Ubiquitous Learning* [Research Article]. Computational Intelligence and Neuroscience; Hindawi.  
<https://doi.org/10.1155/2015/812650>