

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA



TESIS DE GRADO

**SISTEMA INTELIGENTE PARA DETERMINAR LA EVOLUCIÓN
DE PACIENTES CON LESIONES DE RODILLA BASADO EN
MACHINE LEARNING Y KINECT**

TESIS DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA
MENCION INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

POR: RODRIGO DIEGO QUISPE LAURA

TUTOR METODOLÓGICO: LIC. GROVER ALEX RODRÍGUEZ RAMÍREZ

ASESOR: PH. D. YOHONI CUENCA SARZURI

LA PAZ – BOLIVIA

2017



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



LA CARRERA DE INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la referencia correspondiente respetando normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADOS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A mis padres, Ángel y Basilia, a mis hermanos Yudy, Esther y Alberto quienes me brindaron su apoyo incondicional, en todo momento de mi carrera y durante la realización del presente trabajo de investigación, demostrándome que el esfuerzo, el orden y la responsabilidad son valores fundamentales de una persona.

A mi grupo de estudios que me enseñaron cosas muy útiles en el transcurso de mi carrera.

Y a todas las personas que confiaron en que llegaría a cumplir con este trabajo y los que no creyeron lo imposible no se rindan jamás.

AGRADECIMIENTO

En el transcurso de mi vida universitaria y la realización de mi Tesis, son tantas personas que debo parte de este triunfo, de lograr alcanzar mi culminación académica, la cual es el anhelo de todos los que así lo deseamos.

Agradezco a mi tutor Lic. Grover Alex Rodríguez Ramírez por la completa dedicación, colaboración y la buena voluntad, así como en sus observaciones, sugerencias en la redacción del trabajo y estímulo para seguir adelante.

De la misma manera a mi asesor Ph. D. Yohoni Cuenca Sarzuri por su valiosa colaboración y buena voluntad, así como en sus observaciones, aclarar mis dudas y sus sugerencias en la redacción del trabajo.

A todos mis amigos de la carrera de Informática, pasados presentes por ayudarme a crecer y madurar como persona por estar siempre conmigo en especial a mi grupo de estudios Microsoft y hermanos.

RESUMEN

En la actualidad la medicina ha evolucionado mucho en detectar enfermedades antes que se presenten síntomas además de realizar diagnósticos de manera cada vez más acertadas y es donde la tecnología informática ha tenido también una importante participación para que los adelantos anteriormente mencionados se hagan realidad.

Una de las áreas de la medicina en la que se ha tenido presencia del avance tecnológico es la fisioterapia con terapias cada vez más amigables y para este fin la presente tesis realiza la fusión de la tecnología informática y la fisioterapia o terapia de rehabilitación para determinar el grado de evolución de un paciente o persona que requiere terapia física por algún accidente que lesione la rodilla y que requiere de esta terapia para poder rehabilitarse de manera satisfactoria.

Este documento presenta el desarrollo de un sistema inteligente que se basa en algoritmos de machine learning para determinar la evolución o recuperación del paciente.

En este trabajo se utiliza la metodología de Prometheus implementado con tres fases o etapas en la cual se desarrolla e implementa la estructura de un sistema inteligente basado en machine learning o aprendizaje automático para determinar la evolución de recuperación de pacientes con lesiones en la rodilla que requieren de terapia física.

Al terminar el sistema, muestra los resultados obtenidos a partir de las pruebas preliminares realizados en los usuarios finales o pacientes, se demostró que el sistema inteligente basado en machine learning además de coadyuvar al profesional en terapia física con el seguimiento de los ejercicios en paciente con problemas de rodilla y determina la evolución del paciente, por tanto, la presente investigación cumplió con los objetivos iniciales de este trabajo

ABSTRACT

Today, medicine has evolved a great deal in detecting diseases before presenting symptoms, as well as making diagnoses in an increasingly correct way, and it is here that computer technology has also had an important participation so that the aforementioned advances can be realized.

One of the areas of medicine in which the technological advance has been present is physiotherapy with increasingly friendly therapies and for this purpose the present thesis performs the fusion of computer technology and physiotherapy or rehabilitation therapy to determine the Degree of evolution of a patient or person who requires physical therapy for an accident that damages the knee and requires this therapy in order to be rehabilitated in a satisfactory manner.

This paper presents the development of an intelligent system that is based on algorithms of machine learning to determine the evolution or recovery of the patient.

In this paper, we use the Prometheus methodology implemented with three phases or stages in which the structure of an intelligent system based on machine learning is developed and implemented to determine the evolution of recovery of patients with knee injuries that require of physical therapy.

When the system is finished, it shows the results obtained from the preliminary tests

Performed in end users or patients, it was demonstrated that the intelligent system based on machine learning in addition to assisting the professional in physical therapy with the follow-up exercises in a patient with knee problems and determines the evolution of the patient, therefore, the present Research met the initial objectives of this work.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 . MARCO REFERENCIAL	11	
1.1	Introducción	11
1.2	Antecedentes	12
1.3	Planteamiento del problema	15
1.3.1	Problema central.....	17
1.3.2	Problemas secundarios	17
1.4	Definición de objetivos	18
1.4.1	Objetivo general	18
1.4.2	Objetivo específico.....	18
1.5	Hipótesis.....	19
1.6	Justificaciones	19
1.6.1	Económica.....	19
1.6.2	Social.....	20
1.6.3	Científica	20
1.7	Alcance y limites.....	21
1.7.1	Alcances	21
1.7.2	Limites.....	21
1.8	Aportes	22
1.8.1	Práctico.....	22
1.8.2	Teórico	22
1.9	Metodología	22
CAPÍTULO 2 . MARCO TEORICO	24	
2.1	Inteligencia Artificial	24
2.2	Agentes Inteligentes	26
2.2.1	Origen teórico.....	27
2.2.2	Propiedades de los Agentes Inteligentes	27
2.3	Tipos de agentes	28
2.3.1	Estructura de los Agentes Inteligentes	30
2.3.2	Clasificación de agentes	30
2.3.2.1	Agente reflejo.....	31
2.3.2.2	Agente reflejo con estado interno.....	32
2.3.2.3	Agente con objetivos explícitos	33
2.3.2.4	Agente basado en utilidades	34
2.4	Sistemas Inteligentes	35
2.5	Metodología para desarrollar Sistemas Inteligentes.....	38

2.5.1	Prometheus	38
2.5.1.1	Especificación del sistema.....	39
2.5.1.2	Diseño de la arquitectura.....	40
2.5.1.3	Diseño detallado.....	41
2.6	Machine Learning	42
2.6.1	Tipos de aprendizajes para Machine Learning.....	43
2.6.1.1	Aprendizaje supervisado	43
2.6.1.2	Aprendizaje no supervisado	43
2.6.1.3	Aprendizaje semi supervisado.....	43
2.6.1.4	Aprendizaje por refuerzo.....	44
2.6.1.5	Transducción	44
2.6.1.6	Aprendizaje multi-tarea.....	44
2.6.2	Ámbitos de aplicación de Machine Learning.....	44
2.6.3	Diagnostico medico con Machine Learning.....	46
2.6.4	K-means	47
2.6.5	Aplicaciones de K-means.....	50
2.6.6	Support Vector Machine	51
2.6.7	Aplicaciones de Support Vector Machine.....	52
2.7	Azure Machine Learning.....	52
2.7.1	Experimento	55
2.8	Kinect	55
2.8.1	Arquitectura de Kinect	57
2.8.2	Rastreo del esqueleto.....	59
2.9	Lesiones de rodilla	61
2.9.1	Tipos de lesiones	62
2.9.1.1	Esguince medial	62
2.9.1.2	Ligamento cruzado anterior.....	63
2.9.1.3	Rotura de meniscos	63
2.9.1.4	Lesión de cartílago	63
2.9.1.5	Rotura tendón rotuliano.....	64
2.9.2	Diagnostico	64
2.9.3	Tratamiento	64
2.9.4	Levantar la pierna extendida	65
2.9.5	Bombear con el tobillo	65
2.9.6	Ejercicios de rodilla extendida.....	66
2.9.7	Doblar la rodilla con apoyo.....	67
2.9.8	Doblar la rodilla con apoyo mientras está sentado.....	67

2.10	Moel View View-Model	68
2.10.1	Model	68
2.10.2	View	68
2.10.3	View-Model	69
CAPÍTULO 3 . DISEÑO METODOLÓGICO.....		70
3.1	Introducción	70
3.2	Esquema del sistema	70
3.2.1	Entrada de datos entre el sensor Kinect y el paciente	71
3.2.1.1	Explorando los datos	72
3.2.2	Procesamiento de datos	73
3.2.3	Extracción de los movimientos y posturas	73
3.3	Fases de la metodología Prometheus.....	74
3.3.1	Especificación del sistema	74
3.3.2	Especificación de objetivos.....	75
3.3.2.1	Especialista en terapia física.....	75
3.3.2.2	Aplicación	75
3.3.2.3	Machine Learning	75
3.3.3	Funcionalidades.....	75
3.3.4	Identificación de escenarios	76
3.3.5	Diseño arquitectónico.....	79
3.3.5.1	Diagrama de acoplamiento de datos.....	79
3.3.5.2	Diagrama de interacción.....	80
3.3.5.3	Diagrama general del sistema.....	81
3.3.6	Diseño detallado.....	82
3.3.6.1	Descripción de los agentes basados en algoritmos de Machine Learning.....	82
3.3.6.2	Descriptores de capacidad.....	84
3.3.6.3	Acciones del agente basado en Machine Learning.....	84
3.3.6.4	Descripción del conocimiento	85
3.3.7	Variables de la base de conocimiento	86
3.3.7.1	Representación de los datos usando algoritmos de Machine Learning.....	87
3.4	Modelado del sistema.....	90
3.4.1	Descripción del prototipo	90
CAPÍTULO 4 . EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....		93
4.1	Prueba de hipótesis.....	93
4.2	Contraste de rachas de Wald-Wolfowitz.....	93
4.3	Análisis de la prueba de hipótesis	95

CAPÍTULO 5 . CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1 Conclusiones	99
5.2 Recomendaciones.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXOS.....	104

TABLAS

Tabla 1 Comparación entre Inteligencia Natural y Artificial a diferentes niveles.	25
Tabla 2 Aplicaciones del Aprendizaje Automático o Machine Learning.	46
Tabla 3 Especificaciones del sensor Kinect.	59
Tabla 4 Descripción de los roles.	76
Tabla 5 Descripción de escenarios del sistema.	77
Tabla 6 Descripción de acceso al sistema.	77
Tabla 7 Descripción de asignación de ejercicios y análisis de datos obtenidos.	78
Tabla 8 Descripción de asignación de ejercicios y análisis de datos obtenidos.	79
Tabla 9 Descriptores de capacidad.	84
Tabla 10 Identificación de variables.	87
Tabla 11 Resultados especialista y sistema inteligente.	96

FIGURAS

Figura 1 Tipos de agentes.....	29
Figura 2 Estructura del agente inteligente.....	30
Figura 3 Estructura de agente reflejo simple.....	31
Figura 4 Estructura de agente reflejo con estado interno.....	32
Figura 5 Estructura de agente basado en objetivos.....	33
Figura 6 Estructura de agente basado en la utilidad.....	35
Figura 7 El entorno computacional actual: ubicuo, interconectado, social, ¿inteligente?.....	36
Figura 8 Abstracción de un agente a partir de su interacción con el medio ambiente.....	37
Figura 9 Pasos que usa el algoritmo K-means.....	50
Figura 10 Panel Azure Machine Learning.....	54
Figura 11 Flujo básico de un experimento en Azure Machine Learning.....	55
Figura 12 Reconocimiento del cuerpo mediante el sensor Kinect.....	57
Figura 13 Diagrama de hardware de Kinect.....	58
Figura 14 Comparación entre Kinect v1 y v2 mostrando el esqueleto virtual.....	61
Figura 15 Representación del ejercicio con pierna extendida.....	65
Figura 16 Representación del ejercicio bombear con el tobillo.....	66
Figura 17 Representación del ejercicio rodilla extendida.....	66
Figura 18 Representación del ejercicio doblar la rodilla con apoyo.....	67
Figura 19 Representación del ejercicio doblar con la rodilla con apoyo, sentado.....	68
Figura 20 Diagrama del patrón de Arquitectura de Software MVVM.....	69
Figura 21 Esquema del sistema.....	71
Figura 22 Sensor de profundidad.....	72
Figura 23 Detección del esqueleto.....	73
Figura 24 Sensor Infrarrojo.....	74
Figura 25 Diagrama de acoplamiento de datos.....	80
Figura 26 Diagrama de interacción.....	81
Figura 27 Diagrama general del sistema.....	82
Figura 28 Diagrama del agente receptor.....	83
Figura 29 Diagrama del agente de diagnóstico médico.....	83
Figura 30 Esquema del sistema.....	85
Figura 31 Calculo de vectores soporte y maximización del margen.....	88
Figura 32 Transformación del espacio de entrada a un espacio.....	89
Figura 33 Pantalla de inicio del sistema.....	90
Figura 34 Pantalla de registro al sistema.....	91
Figura 35 Pantalla de selección de ejercicio del sistema.....	91
Figura 36 Captura de articulaciones por el sistema.....	92
Figura 37 Captura de articulaciones por el sistema.....	92
Figura 38 Grafica Normal para prueba de hipótesis.....	98

CAPÍTULO 1 . MARCO REFERENCIAL

1.1 Introducción

A partir de la creación de las computadoras hasta la actualidad se han estudiado maneras de dotar de cierta inteligencia a las computadoras a partir de esta idea nace la Inteligencia Artificial (IA), que es una parte esencial de las ciencias de la computación y la matemática ya que estudia el cómo resolver problemas cotidianos por sí mismos, buscando imitar los procesos inductivos y deductivos del cerebro humano a partir de metodologías que permitan entender, comprender, aprender relaciones entre hechos y el de resolver problemas a partir de un problema previo.

Una de las áreas de la IA han sido los Sistemas Inteligentes (SI) los cuales poseen habilidades parecidas al raciocinio del ser humano para resolver problemas dentro de un dominio específico, tiene capacidades para adaptarse, aprender en un ambiente cambiante y explicar cómo se toman las decisiones o acciones ante distintas situaciones.

El termino Sistema Inteligente se utiliza para describir sistemas y métodos que simulan aspectos de comportamiento inteligente. Un SI aprende durante su existencia y actúa continuamente de forma interna o externa de manera que alcanza su objetivo cada vez de forma mejor, permitiendo recibir información de su entorno y así generar conocimiento para un caso de estudio, en el presente trabajo para lograr determinar la evolución de un paciente que tiene algún tipo de lesión en la rodilla.

El proceso de rehabilitación siempre ha sido un tema de interés para el área de la salud, ya que esta proporciona tratamientos por los cuales, y para el presente caso de estudio ayudan a las personas que perdieron cierta movilidad en la rodilla, o que tengan la condición clínica de condromalacia rotuliana u otras de una recuperación de la movilidad en un corto plazo. Además, la evaluación de la condición de la rodilla es importante y para poder saber el estado de esta y se tienen en la actualidad métodos como la artroscopia para determinar dicha valoración.

1.2 Antecedentes

Los Sistemas Inteligentes involucran el hablar de la Inteligencia Artificial (IA) que es un campo de las ciencias computacionales que tiene bastantes áreas de aplicación, el termino IA fue acuñado por John McCarthy¹ en 1956 con la finalidad de crear maquinas inteligentes o programas de cómputo inteligentes incorporando conocimiento sacado de la experiencia.

A consecuencia de querer maquinas inteligentes, el Test de Turing puede ser uno de los primeros intentos por realizar un SI, este consistía en poner a prueba la habilidad de una máquina de exhibir un comportamiento inteligente o indistinguible del ser humano (Diaz, 2013).

Los campos de aplicación de los SI son muy variados, pero en cualquier ámbito partirá de los datos y los volverá en conocimiento o información, de tal modo que ayude a la toma de decisiones utilizando algoritmos de razonamiento, aprendizaje, evolución, como ser entre otros.

Dentro de la IA existen sub ramas que utilizan los fundamentos de aprender de la experiencia y una de estas es el Aprendizaje Automático o Machine Learning (ML) que cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan a las computadoras aprender, creando programas capaces de generalizar comportamientos a partir de la información suministrada.

Día a día en el mundo se producen miles de visitas al médico, diagnósticos y tratamientos que son datos que a través de ML pueden ayudar a los profesionales de la medicina.

Son muchas las investigaciones que se están llevando a cabo en la actualidad y que buscan algoritmos que permitan a los ordenadores hacer uso de ML para completar o colaborar con el diagnóstico de enfermedades o patologías. Una de ellas realizada por un equipo de la

¹ Prominente informático que recibió el Premio Turing en 1971 por sus importantes contribuciones en el campo de la Inteligencia Artificial.

Universidad Carnegie Mellón en Pittsburgh², Pensilvania que han obtenido resultados positivos en el diagnóstico de personas autistas. A través de una resonancia magnética se ha conseguido medir la reacción cerebral de 34 personas al escuchar una serie de palabras. De las 34 personas, 17 son autistas y las otras 17 no. Los resultados se introdujeron en un sistema de ML que fue capaz de reconocer en el 97% de los casos si la persona era autista o no.

El objetivo de esta investigación es la combinación de datos para intentar predecir soluciones clínicas, combinando técnicas como el ML y el Big Data³ (Philips, 2015).

De acuerdo a la investigación realizada se pueden mencionar los siguientes trabajos similares:

“Modelo de diagnóstico y tratamiento de pancreatitis aguda mediante lógica difusa”, realizado por Marisel Matilde Mendoza Huarahuara, en el año 2011, de la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Informática. Se plantea un modelo de sistema experto el cual se encarga de diagnosticar el tipo de pancreatitis aguda que puede o no presentar un paciente, utilizando lógica difusa. Se toma como variables de entrada los síntomas, la base de conocimiento se representó por reglas de producción formalizado por la lógica de predicados el cual contiene el conocimiento del experto humano.

“Sistema Inteligente de apoyo al aprendizaje viso espacial y audio fonológico para niños de 4 a 7 años con dislexia”, realizado por María Isabel Huacani Marca, en el año 2012, de la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Informática. Desarrolla y aplica tutores inteligentes para la enseñanza viso espacial y audio fonológico en niños disléxicos que se encuentran en educación inicial, se puso importancia

² Es uno de los más destacados centros de investigación superior de los Estados Unidos en el área de ciencias de la computación y robótica.

³ Hace referencia al almacenamiento de grandes cantidades de datos y a los procedimientos usados para encontrar patrones repetitivos dentro de esos datos

en la interacción con el alumno de forma dinámica y llamativa utilizando agentes inteligentes y se utilizó la metodología Prometheus la cual es orientada a agentes.

“IPHealth: Plataforma inteligente basada en open, linked y big data para la toma de decisiones y aprendizaje en el ámbito de la salud”, realizado por Manuel de Buenaga, Manuel J. Maña y L. Borrajo, en 2015, perteneciente a la Sociedad Española para el procesamiento del Lenguaje Natural. IPHealth ofrece servicios que permitan un acceso integrado e inteligente a la información relacionada en el entorno biomédico. Se componen en tres escenarios como: la asistencia a los profesionales sanitarios durante el proceso de toma de decisiones en el ámbito clínico, el acceso a información relevante sobre su estado de salud a pacientes crónicos y dependientes y el soporte a la información basada en la evidencia de los nuevos estudiantes de medicina.

Utiliza aplicaciones Web que permiten la integración de procesos y técnicas de minería de texto y datos e integración de información de forma rápida, uniforme y reutilizable. Así mismo utiliza conceptos de Open Data, Big Data, Smart Sensor (Barrajo, 2015).

“Inteligencia artificial para asistir el diagnóstico clínico en medicina”, realizado por Saúl O. Lugo R, Guadalupe Maldonado Colín, Chiharu Murata, el año 2014, en el Instituto Nacional de Pediatría, Ciudad de México. En México en los últimos años se ha avanzado en la implantación del expediente electrónico y los Institutos Nacionales de Salud cuentan con una riqueza de datos clínicos almacenada. Para que esos datos se conviertan en conocimiento, necesitan ser procesados y analizados a través de métodos estadísticos complejos, como ya se hace en otros países, usando: razonamiento basado en casos, redes neuronales artificiales, clasificadores bayesianos, regresión logística multivariante o máquinas de soporte vectorial, entre otros. Esto facilitara el diagnóstico clínico de padecimientos como: apendicitis aguda, cáncer de mama o hepatopatía crónica.

“Efecto de Xbox Kinect en la velocidad de marcha y equilibrio en pacientes amputados de miembros pélvicos con prótesis en el Centro de Rehabilitación y Educación Especial Toluca”, realizado por Hernández, Marilú Martínez, el año 2014, en la Universidad

Autónoma del Estado de México, Toluca. Este estudio tiene como objetivo determinar si el uso de Xbox Kinect mejora la velocidad de marcha y el equilibrio en pacientes con amputación unilateral de miembro pélvico en fase protésica sometiéndolos a 10 sesiones y a 30 minutos por sesión para realizarles pruebas de estabilidad postural, límites de estabilidad y marcha en 10 metros (Hernández, 2014).

“Desarrollo de un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor Kinect para la rehabilitación asistida con videojuegos”, realizado por Hoyos, J.F Villada & J.E. Muñoz & J.D, el año 2014, en la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Este trabajo presenta el potencial del dispositivo Kinect de Microsoft como una herramienta para la rehabilitación de lesiones, enfermedades y traumatismos en el cuerpo humano la cual permite a los pacientes controlar e interactuar ambientes virtuales con diferentes tipos de aplicaciones sin necesidad de manipular ningún dispositivo de juego o alguna interfaz háptica, permitiendo una interacción inalámbrica a través de una interfaz de usuario natural (NIU) utilizando gestos. Todo esto con el fin de capturar en tiempo real datos como posiciones y ángulos de Euler de las articulaciones en movimiento normal y realizar un análisis de la movilidad con base en el Software para análisis biomecánico del movimiento BIOCIRAC, un seguimiento continuo al proceso de rehabilitación y la cuantificación de los resultados de la terapia (Hoyos, 2014).

1.3 Planteamiento del problema

La articulación de la rodilla es la más voluminosa y complicada del cuerpo humano y sus afecciones son una de las causas más frecuentes para realizar consultas en fisioterapia, ortopedia y reumatología.

Siendo la condromalacia rotuliana o condromalacia patelar⁴ el diagnóstico más común en los casos de dolor en la cara interior de la rodilla conjuntamente con la osteoartritis, la sinovitis

⁴Degeneración de la superficie articular cartilago que constituye la cápsula posterior de la rodilla.

y la plica sinovial; y consiste en el reblandecimiento del cartílago articular, señalado por Koning en 1924, aunque algunos autores indican que este término ya se había usado en Alemania desde 1917. Es un síndrome de la articulación rotulo femoral que se caracteriza por dolor articular, entre las causas más comunes para esta son:

- Sobrepeso.
- Antecedentes genéticos
- Traumas violentos directos en la articulación
- Micro traumas repetidos.
- Alteraciones en la alineación de la rótula
- Fricción crónica entre la rótula y la articulación del fémur al mover la rodilla

Esta enfermedad es bastante común entre adultos jóvenes, especialmente deportistas como jugadores de baloncesto, vóley, fútbol, ciclistas, artes marciales, bailarines de ballet y corredores. Y se manifiesta por dolor en la parte delantera de la rodilla, por detrás de la rótula que empeora al bajar escaleras o al realizar acciones en el que intervenga la flexión de prolongada de la rodilla.

La incidencia de esta lesión se localiza en:

- Adolescentes o adultos jóvenes.
- Deportistas que se someten a la articulación a esfuerzos regulares y exigentes.
- Mujeres (debido a las características de la pelvis femenina).
- Personas que han sufrido traumatismos previos o accidentes.
- Personas mayores de edad con artrosis⁵.
- Factores posturales como el uso de tacones en las mujeres.

Los programas de rehabilitación aplicados en la patología rotuliana se centran, en fortalecer el cuádriceps; y en la relajación del compartimiento externo mediante estiramientos

⁵ Enfermedad crónica degenerativa que produce la alteración destructiva de los cartílagos de las articulaciones.

musculares. Las personas en la vida cotidiana son propensas a sufrir accidentes ya sea de tipo laboral, por enfermedad o por otras causas. Guy Ryder, director general de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) lanzo la afirmación que el trabajo cobra más víctimas que la guerra. Se estima que cada año mueren 2,3 millones de trabajadores debido a accidentes relacionados con el trabajo y enfermedades (Gary, 2014).

En 2013, el Instituto de nacional de estadística e informática del Perú indica que para tratamientos y/o terapias de rehabilitación de las personas que presentan alguna limitación el 88,6% de la población con alguna discapacidad no lo recibió y solo el 11,4% si recibió algún tratamiento o terapia. Entre los que recibieron tratamiento y/o terapia de rehabilitación podemos mencionar las terapias de rehabilitación física 46,1%, tratamiento psicológico 18,9%, tratamiento psiquiátrico 11,3%, terapia de lenguaje 11,0%, apoyo emocional 3,8%, terapia ocupacional 3,6%, otro tipo 5,4% (INEI, 2013).

Toda persona es propensa de tener que recurrir a las terapia física o fisioterapia ya sea de manera preventiva o por alguna lesión que le aqueja, lo que impide a la persona el normal desenvolvimiento en sus actividades cotidianas y existiendo el riesgo de que esa dolencia se agrave con el pasar del tiempo si no es tratada debidamente en su tiempo.

En el caso de Bolivia no se cuenta con estadísticas actualizadas de los datos que se requieren para el presente documento.

1.3.1 Problema central

¿Cómo determinar la evolución y recuperación del paciente junto a la correcta realización de los ejercicios asignados por el profesional en fisioterapia, de las lesiones en la rodilla?

1.3.2 Problemas secundarios

Los problemas secundarios identificados son los siguientes:

- La inadecuada percepción de la evolución del paciente por parte del profesional en terapia física, ocasiona un erróneo tratamiento y tipos de ejercicios a realizar.
- Los accidentes fortuitos, laborales o enfermedades en la rodilla, tiende a generar incidencia en afecciones de rodilla a largo plazo.
- La utilización de equipos para determinar la evolución recuperación de la rodilla, ocasiona errores en la determinación de la evolución.
- El uso de métodos tradicionales para realizar una evaluación del estado de la rodilla, tiende a ser un gasto económico elevado.

La demora de atención para determinar la evolución, dificulta el seguimiento y también se tiende a una equivocada selección de ejercicios y su incorrecta realización que debe seguir el paciente

1.4 Definición de objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar, diseñar y desarrollar un sistema inteligente que permita determinar la evolución y la correcta realización de los ejercicios para las lesiones de rodilla, asignados por un profesional fisioterapeuta.

1.4.2 Objetivo específico

Se pudieron identificar los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar el algoritmo que el sistema utiliza para poder realizar la determinación de la evolución del paciente.
- Generar un sistema integrado que muestre el grado de evolución en cuanto a la recuperación del paciente.
- Incorporar el sensor Kinect en una interfaz para que sea parte del sistema.

- Implementar el comportamiento de un ratón construida sobre el sistema interfaz natural.
- Implementar una interfaz para la navegación de menús construida sobre el sistema natural.
- Desarrollar la calibración del sensor para poder obtener los datos con la precisión deseada.

1.5 Hipótesis

El uso de algoritmos de Machine Learning y la capacidad del sensor Kinect de capturar el esqueleto humano en 3D, permite que el sistema inteligente determine la evolución y la recuperación del paciente con lesión en la rodilla, a un nivel de confiabilidad del 90%

1.6 Justificaciones

1.6.1 Económica

Para determinar la evolución de pacientes que sufrieron lesiones en la rodilla por diferentes causas se acude a métodos de evaluación como: biopsia sinovial⁶, ecografías, tomografía axial⁷ y radiografías de rayos X. Estos estudios son costosos, además que existe demora en el tiempo de espera para los resultados.

El desarrollo del sistema inteligente basado en Machine Learning tendría un costo mínimo porque se basaría en software y hardware comercial, de tal manera que los resultados serían inmediatos ya que el tiempo de espera es mínimo tanto para los profesionales como para los pacientes, lo cual implica un ahorro de tiempo y dinero.

⁶ Artropatías infecciosas y es muy demostrativa en la tuberculosis de rodilla.

⁷ La tomografía axial computarizada consiste en la reconstrucción por medio de una computadora de un plano topográfico de un objeto, consiguiéndose la imagen con un tubo emisor de rayos X.

1.6.2 Social

Con el prototipo del SI brinda ayuda a los profesionales en fisioterapia que necesitan evaluar la evolución de pacientes con lesiones en la rodilla, así mismo el SI busca beneficiar a niños, jóvenes y personas mayores consiguiendo mejorar el estado de la lesión o dolor que sufren por diferentes causas.

Las instituciones como los centros kinesiológicos⁸, de salud y fisioterapeutas requieren determinar el estado de evolución de recuperación, usualmente se hace uso de procesos en los cuales el experto humano establece determina la evolución, sin embargo, una persona puede llegar a cometer errores, como olvidarse de algún factor determinante para establecer la evolución del paciente, es así que los métodos utilizando Machine Learning de apoyo a la determinación de la evolución del paciente son más factibles que los procesos humanos.

1.6.3 Científica

El presente trabajo se proporcionará la investigación de los fundamentos teóricos de los SI, lo cual permitirá la aplicación del conocimiento en el campo científico.

El avance de la tecnología en las distintas ramas de la ciencia, el campo de la Inteligencia Artificial propone varias técnicas para determinar la evolución de recuperación como es el Machine Learning. Permitiendo al Sistema Inteligente Aprender con mayor eficiencia y fiabilidad para después apoyar en la toma de decisiones. De esta manera contribuirá de una forma más rápida para determinar evolución mencionada anteriormente.

Por otro lado, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han revolucionado extraordinariamente nuestra sociedad, realizando innovaciones tecnológicas apostando fuertemente por la renovación en la fisioterapia convencional con el uso tecnologías como el sensor del Kinect.

⁸ Kinesiología es el estudio científico del movimiento humano empleando los principios de las ciencias físicas.

1.7 Alcance y límites

1.7.1 Alcances

Los alcances que se presentan son los siguientes:

- Se desarrollará el Sistema Inteligente para determinar el estado de evolución de los pacientes que tienen lesiones en la rodilla. Tomando en cuenta a pacientes en un intervalo de 14 a 30 años de edad.
- El Sistema Inteligente ofrecerá la determinación del estado de la evolución del paciente de manera rápida, después de haber introducido los datos necesarios para la evaluación.
- Se realizará la determinación de la evolución del paciente basándose en Machine Learning junto a métodos de evaluación utilizados por los especialistas.
- El prototipo servirá de apoyo para generar un control a la hora de realizar la evaluación, además de controlar como se están realizando los ejercicios propuestos por el especialista.

1.7.2 Límites

- El determinar la evolución de mejoría en niños, adolescentes, adultos y personas de mayor edad es un tema muy amplio, por esta razón se aplicará solo a personas entre los 15 a 30 años.
- El Sistema Inteligente no podrá dar apoyo a personas que presenten enfermedades en la articulación de la rodilla.
- El Sistema Inteligente no podrá dar un apoyo a pacientes mayores de 30 años.
- El sistema no pretende reemplazar al especialista en fisioterapia, sino que ayudara en la valoración de la evolución del paciente.

- Por la característica de algunos tipos de lesiones considerados graves, como son la amputación de miembros o danos permanentes el sistema no puede realizar la captura de la información requerida.

1.8 Aportes

1.8.1 Práctico

Se desarrollará el prototipo del Sistema Inteligente basado en Machine Learning, el cual preservará el conocimiento adquirido en determinar la evolución de recuperación y de esta manera contribuir al desarrollo tecnológico del país en el área de la salud y aportando a esta.

La utilización del sensor Kinect que posee la capacidad de detectar el cuerpo humano en 3D junto a su SDK que ofrece las herramientas necesarias para poder manipular el dispositivo.

1.8.2 Teórico

Se realizará una investigación sobre el campo de Sistemas Inteligentes en la que se utiliza Machine Learning para la determinación de la evolución de pacientes con lesión en la rodilla.

El aprendizaje automático o aprendizaje de máquina es una rama de la inteligencia artificial cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan a las computadoras aprender. Tiene una amplia gama de aplicaciones, utilizando modelos predictivos.

1.9 Metodología

Para la elaboración del presente trabajo de tesis se empleará el “Método Científico” que sirve como guía para el proceso de investigación. El cual presenta una secuencia de etapas a seguir, se caracteriza por los siguientes pasos (Lucio, 2010):

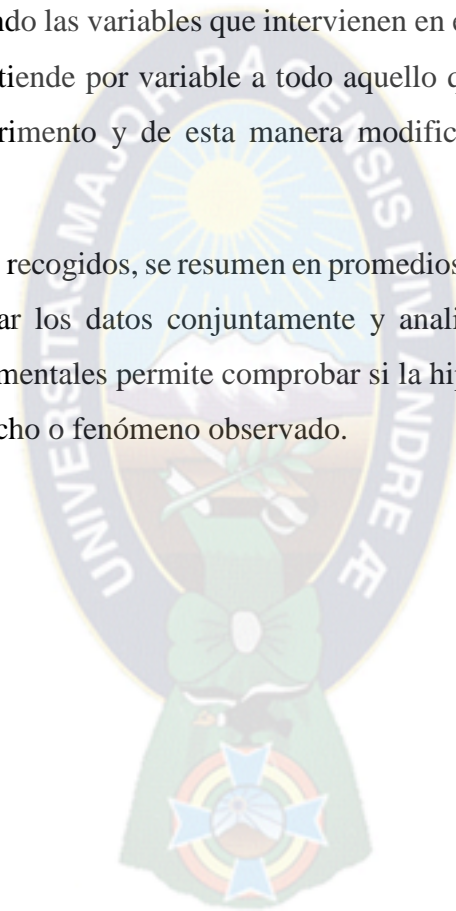
Observación: La observación consiste en examinar atentamente los hechos y fenómenos que tienen lugar en la naturaleza y que pueden ser percibidos por los sentidos. La observación debe ser cuidadosa, exhaustiva y exacta.

Identificación del problema: Después de la observación se plantea el cómo y el porqué del fenómeno observado, para la identificación del problema que se va a estudiar.

Hipótesis: Formular una hipótesis consiste en elaborar una explicación provisional de los hechos observados y de sus posibles causas. Es decir, es la solución preliminar al problema planteado, la hipótesis es una declaración que puede ser false o verdadera.

Experimentación: Una vez formulada la hipótesis, se debe comprobar si es cierta. Para ello realizará pruebas modificando las variables que intervienen en el proceso y comprobara si se cumple su hipótesis. Se entiende por variable a todo aquello que puede causar cambios en los resultados de un experimento y de esta manera modificar las circunstancias que se consideren convenientes.

Resultados: Los resultados recogidos, se resumen en promedios, variaciones, tablas, gráficos que nos permitan visualizar los datos conjuntamente y analizarlos con detenimiento. El análisis de los datos experimentales permite comprobar si la hipótesis era correcta y dar una explicación científica al hecho o fenómeno observado.



CAPÍTULO 2 . MARCO TEORICO

2.1 Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina académica relacionada con la teoría de la computación cuyo objetivo es emular algunas de las facultades intelectuales humanas en sistemas artificiales o computadoras. Con inteligencia humana nos referimos típicamente a procesos de percepción sensorial como la visión, audición, como ser entre otros.

Para abordar el concepto de IA, tal vez cabría comenzar por destacar algunas propiedades generales que presenta la inteligencia humana, como por ejemplo la habilidad de enfrentar nuevas situaciones, la habilidad de resolver problemas, de responder preguntas, elaborar planes, como ser entre otros. Desde sus inicios, el hombre se representó el mundo real mediante símbolos, los cuales constituyen la base del lenguaje humano. En este sentido, se podría considerar a la IA como un dialecto simbólico constituido por cadenas de caracteres que representan conceptos del mundo real (Cruz, 2011).

De hecho, los procesos simbólicos son una característica esencial de la IA. A partir de lo expuesto es posible formular una definición más aproximada de nuestro objeto de estudio: la IA es una rama de las ciencias computacionales que se ocupa de los símbolos y métodos no algorítmicos para la resolución de problemas.

En ocasiones, los sistemas de IA resuelven problemas de forma Heurística⁹ mediante un procedimiento de ensayo y error que incorpora información relevante basada en conocimientos previos. Cuando un mismo problema puede resolverse mediante sistemas naturales como el cerebro humano o artificiales como la computadora, los algoritmos que sigue cada implementación suelen ser completamente diferentes puesto que el conjunto de instrucciones elementales de cada sistema es también diferente. El cerebro procesa la

⁹ La capacidad que ostenta un sistema determinado para realizar de manera inmediata innovaciones positivas para sí mismo y sus propósitos.

información mediante la activación coordinada de redes de neuronas en áreas especializadas como el córtex visual¹⁰, córtex motor¹¹, entre otros. En el sistema nervioso, los datos se transmiten y reciben codificados en variables como la frecuencia de activación de las neuronas o los intervalos en los que se generan los potenciales de acción neuronales. El elevado número de neuronas que intervienen en un proceso de computación natural hace que las fluctuaciones fisiológicas tengan un papel relevante y que los procesos computacionales se realicen de forma estadística mediante la actividad promediada en subconjuntos de neuronas (Kanaan, 2014).

En un sistema IA, en cambio, las instrucciones básicas son las propias de una computadora, es decir operaciones aritmético-lógicas, de lectura/escritura de registros y de control de flujo secuencial. La tabla 2.1 describe las diferencias fundamentales que existen entre sistemas de inteligencia artificial y natural en las escalas más relevantes (Cruz, 2011).

NIVEL	NATURAL	ARTIFICIAL
Abstracción	Representación y manipulación de objetos abstractos	Representación y manipulación de objetos abstractos
Computacional	Activación coordinada de áreas cerebrales	Algoritmo / procedimiento efectivo
Programación	Conexión sinápticas plasticidad	Secuencia de operaciones aritmético-lógicas
Arquitectura	Redes excitatorias e inhibitorias	CPU + memoria
Hardware	Neurona	Transistor

Tabla 1 Comparación entre Inteligencia Natural y Artificial a diferentes niveles.
Fuente: (Cruz, 2011)

¹⁰ Se refiere a la corteza visual primaria (también conocida como corteza estriada o V1) y las áreas visuales corticales extra estriadas.

¹¹ Comprende las áreas de la corteza cerebral responsables de los procesos de planificación, control y ejecución de las funciones motoras voluntarias.

La idea principal es que, a pesar de las enormes diferencias entre sistemas naturales y artificiales, a un cierto nivel de abstracción ambos pueden describirse como sistemas de procesado de objetos abstractos mediante un conjunto de reglas.

En la actualidad abarca temáticas como: resolución de problemas y búsqueda, representación del conocimiento y sistemas basados en el conocimiento, Aprendizaje Automático o Machine Learning. Además de los temas mencionados, existen otros que están fuertemente relacionados como: el lenguaje natural, la visión artificial, la robótica, el reconocimiento del habla. El campo de la IA avanzó mucho gracias a la cual se han desarrollado soluciones tecnológicas avanzadas como los asistentes virtuales o incluso máquinas con sentido común capaces de concebir creaciones como lo haría un cerebro humano (Jimenez, 2016).

Las distintas ramas que son asociadas a la IA están representadas por el estudio de los sistemas difusos¹², las redes neuronales¹³, la computación evolutiva¹⁴, los métodos bayesianos y probabilísticos, los algoritmos genéticos, la programación genética, teoría del caos, entre otros. Tienen un desarrollo y una fundamentación independiente cada una de ellas contribuye con una metodología para tratar problemas en su dominio de aplicación y de esta manera evolucionar mejorando el campo de estudio (Solano, 2011).

2.2 Agentes Inteligentes

Según un agente es cualquier entidad que percibe su entorno a través de sensores y actúa sobre ese entorno mediante efectores. Un agente es racional cuando realiza la mejor acción posible a partir de los datos percibidos.

El profesor de ciencias de la computación de la universidad de Liverpool escribe: Un agente inteligente es un sistema de hardware o software situado en un entorno determinado capaz

¹² La lógica difusa se basa en lo relativo de lo observado como posición diferencial.

¹³ Las redes de neuronas artificiales son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso biológico.

¹⁴ La computación evolutiva es una rama de la IA que involucra problemas de optimización combinatoria.

de actuar de forma autónoma y razonada de dicho ambiente para llevar a cabo objetivos determinados.

De forma más genérica se tiene la definición un agente es todo aquello que se percibe su ambiente mediante sensores y que responde o actúa en tal ambiente por medio de efectores.

2.2.1 Origen teórico

Los agentes inteligentes tienen su origen teórico a través de la inteligencia artificial distribuida y sucede que los problemas están físicamente distribuidos, donde el mundo está compuesto por entidades autónomas y estas a su vez interactúan entre sí y con el entorno.

Define la inteligencia artificial distribuida como una disciplina dirigida al desarrollo de métodos y técnicas para la solución de problemas complejos por medio del comportamiento de un sistema integrado por unidades llamadas agentes. Uno de los principales objetivos es entender los principios subyacentes al comportamiento de múltiples entidades del mundo denominadas agentes y sus interacciones. Es así que con el paso del tiempo la meta de la inteligencia artificial es diseñar un agente inteligente o racional que opere y actúe adecuadamente en sus ambientes (Leicester, 2011).

2.2.2 Propiedades de los Agentes Inteligentes

La siguiente descripción detalla cada una de las propiedades que puede tener un agente inteligente el cual es una conjunción de varios autores. Donde concuerdan con las siguientes propiedades generales que pueden ser seleccionadas de acuerdo a la aplicación de un determinado agente.

- **Autonomía:** Actúa en cuenta propia en nombre del usuario, es decir que tiene la capacidad de operar sin intervención directa de los humanos o de otros agentes, con un cierto tipo de control sobre sus acciones. Después del conocimiento integrado, definitivamente que la autonomía es una de las características más importantes de los

agentes dado que, esta le permitirá definir su conducta basado en su propia experiencia.

- **Reactivo:** El agente actúa en función de los sucesos producidos en el entorno. Un sistema reactivo es aquel que mantiene una interacción continua con el entorno y responde a los cambios que se producen en él, en tiempo de respuesta adecuado. En este caso la mayoría de los entornos interesantes son dinámicos.
- **Proactivo:** Donde toma la decisión de actuar antes de que se den los sucesos. Un sistema proactivo es aquel que genera e intenta alcanzar metas, no es dirigido solo por eventos, toma iniciativa, reconoce oportunidades.
- **Inteligencia:** Cerrada o adaptable al entorno (aprendizaje).
- **Sociabilidad:** Un agente tiene en cuenta la existencia de otros agentes e interactúa con ellos mediante algún tipo de comunicación con: usuario y sistema.
- **Cooperación:** Con otros agentes para realizar tareas de mayor complejidad.
- **Movilidad:** De un sistema a otro para acceder a recursos remotos o para reunirse con otros agentes.

Las características descritas anteriormente, no implican que todos los agentes las posean, dependerá de la aplicación a la cual se oriente y el tipo de función del agente, para poder especificarlas (Kanaan, 2014).

2.3 Tipos de agentes

Existen distintos tipos de agentes a los cuales se le debe diferenciar por sus características particulares; pero que en esencia son los mismos. Al considerar a los agentes humanos, se observa que poseen ojos, oídos y otros órganos que sirven como efectores, los cuales utilizan para alcanzar un objetivo en particular en un ambiente dado.

En el caso de agentes de hardware como un robot, los sensores son sustituidos por cámaras de video los efectores son reemplazados mediante un conjunto de mecanismos.

Pero un agente de software es un programa de computación que se ejecuta en un ambiente y que es capaz de realizar acciones dentro de este, con la finalidad de alcanzar sus objetivos particulares para el cual fue diseñado. Para un agente de software, sus percepciones y acciones vienen dados por sus instrucciones de programas en algún lenguaje específico. A partir de las definiciones mencionadas anteriormente podemos ver la figura 1 donde se ve los distintos tipos de agentes (Norvig & Russell, 2015).

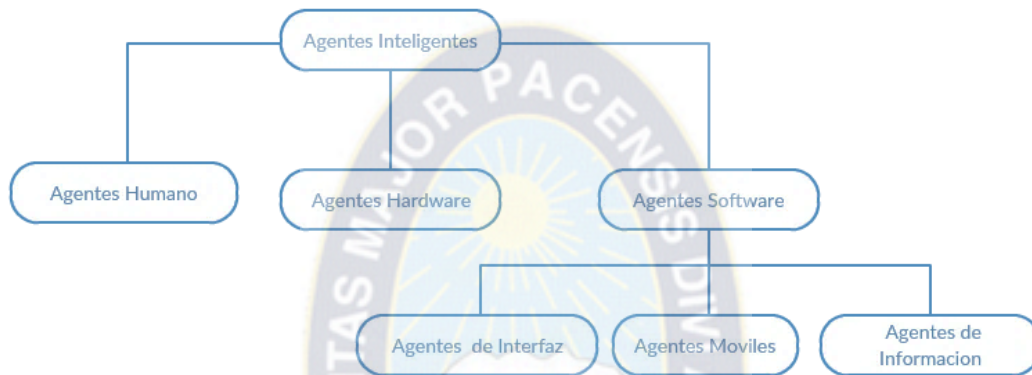


Figura 1 Tipos de agentes.

Fuente: (Choque, 2012)

Agentes de interfaz, se caracteriza por su capacidad de hacer comprensible las interfaces; también denominados asistentes personales, tiene como objetivo simplificar las tareas rutinarias que realiza un usuario, por ejemplo, detectar que una noticia pueda ser importante para un usuario y comunicárselo.

Agente de información, resuelven consultas a usuarios u otros agentes fusionando información recogida en múltiples fuentes. Las propiedades que tiene este tipo de agentes son autonomía, sociabilidad, capacidad de reacción e iniciativa.

Agentes móviles o de red, son programas que pueden migrar de una a otra máquina; requieren un entorno de ejecución de agentes. Existen dos tipos de agentes móviles que son los de mono-saltos donde se mueven a un único y específico lugar y los multi-saltos son aquellos que transitan por la red de uno a otro lugar, ventajas que presentan este tipo de agente:

- Reducción del coste de las comunicaciones.
- Ejecución asíncrona (cuando no estamos conectados).
- Recuperación distribuida de información.

2.3.1 Estructura de los Agentes Inteligentes

En el caso de los agentes inteligentes dirigidos a lo que es aprendizaje se requiere que nuestros agentes presenten las siguientes características como ser reactivo, proactivo, social y autónomo (Norvig & Russell, 2015). La estructura de un agente sigue como en la figura 2 pone al alcance del programa las percepciones obtenidas mediante el sensor.

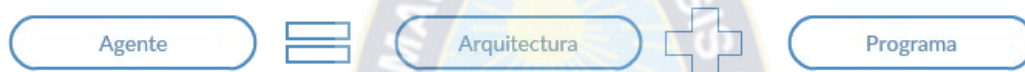


Figura 2 Estructura del agente inteligente.

Fuente: (Choque, 2012)

Lo ejecuta y alimenta el efector con acciones elegidas por el programa conforme se van generando. Antes de diseñar un programa de agente, hay que hacer la descripción de lo que es un P.A.M.A. (Percepciones son eventos que captura el agente, Acciones son eventos o resultados por parte del agente, Ambiente es el lugar o sitio donde el agente interactúa con el usuario). El programa es un algoritmo que recibe las percepciones del agente y genera una secuencia de acciones como sigue a continuación donde el programa esqueleto de un agente inteligente no necesariamente guarde en su memoria todas las percepciones entrantes, esto depende del dominio específico actual en el que se encuentra; un dominio es un fragmento del mundo cerca del que se desea adquirir conocimiento (Choque, 2012).

2.3.2 Clasificación de agentes

Varios autores nos presentan distintas clasificaciones como ser según el tipo de aplicación. El tipo de procesamiento empleado, según al acceso a las capas de software. En esta sección

destacamos los más utilizados y proporcionamos sus características a continuación (García, 2012).

2.3.2.1 Agente reflejo

Este agente actúa encontrando una regla cuya condición coincida con la situación que el agente percibe en su entorno a través de sus sensores y a la acción que debe generar dicha regla conocida como de condición-acción. Si observamos la figura 3 tendremos que los rectángulos se usan para indicar el estado interno en un momento dado el proceso de decisión del agente, y los óvalos representan la información de base utilizada en el proceso.

Debe existir por lo tanto una función de interpretación de la entrada que genere una descripción abstracta del estado prevaleciente de la percepción. De la misma forma deberá disponer de una función que aporte la regla a aplicar en función de la entrada (García, 2012).

Este tipo de agente no contiene internamente estados y sus procesos o acciones que realiza son respuestas a la entrada de percepciones, a esta conexión entre percepciones y acciones se las denomina reglas de condición-acción. Ejemplo: Si el carro de adelante está frenando entonces empiece a frenar.

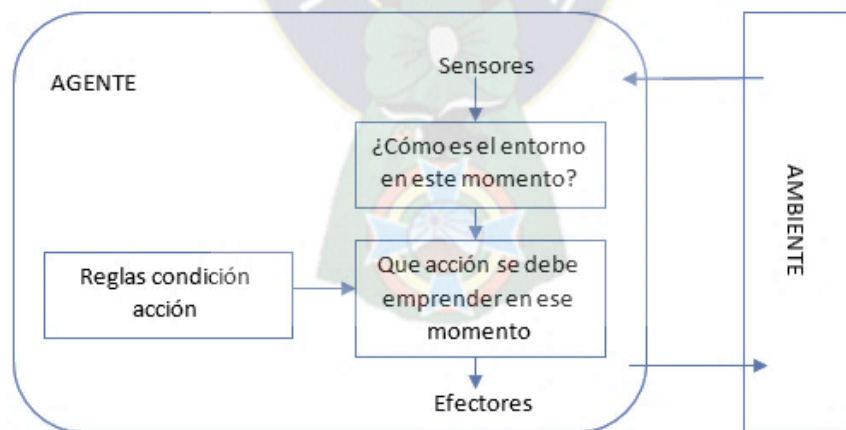


Figura 3 Estructura de agente reflejo simple.
Fuente: (Choque, 2012)

2.3.2.2 Agente reflejo con estado interno

El agente reflejo con estado interno mantiene la información que necesita para distinguir entre diferentes situaciones presentes en el entorno donde se desarrolló, así la percepción actual interpreta a partir de un estado anterior. De esta manera el agente analiza cómo influyen las acciones generadas por el mismo. Para explicar de una forma más específica se explicó lo que era un agente reflejo simple anteriormente este funcionara solo si toma la decisión adecuada con base en la percepción en un momento dado. El problema surge debido a que los sensores no informan acerca del estado total del mundo (Cruz, 2011).

En algunas ocasiones, no es posible tomar una decisión a partir de solamente percepciones, debido a que los sensores no proporcionan toda la información necesaria para realizar una acción. En un agente reflejo con estado interno es como se muestra en la figura 4, el cual mantiene la información que necesita para distinguir entre diferentes situaciones presentes en el entorno donde se desarrolla, así la percepción actual se interpreta a partir de un estado anterior, utilizando información de cómo evoluciona el mundo independientemente del agente y cómo influyen en él las acciones generadas por el mismo.



Figura 4 Estructura de agente reflejo con estado interno.

Fuente: (Choque, 2012)

La actualización de esta información sobre el estado interno conforme va pasando el tiempo, exige la codificación de dos tipos de conocimiento en el programa del agente. En primer lugar, se necesita cierta información de cómo las acciones del mismo agente afectan al mundo, Se puede observar la estructura del agente interno anterior para generar la descripción actualizada del estado siguiente. Este tipo de agente debe incluir una función actualizar-estado que es el responsable de crear la nueva descripción del estado interno para poder actuar consecuentemente a él.

2.3.2.3 Agente con objetivos explícitos

También llamado agente basado en objetivos usa una descripción de las metas a alcanzar, lo cual sirve para elegir entre diferentes acciones posibles la correcta (Benítez, 2014).

Para decidir que hay que hacer, no siempre basta con tener información acerca del estado que se encuentre en el ambiente, a veces se requiere cierto tipo de información sobre la meta. De esta forma el agente puede combinar la meta y los estados del ambiente para elegir aquellas acciones que permitan de mejor forma alcanzar la meta. En ocasiones esto es muy sencillo, cuando alcanzar una meta depende de responder con una sola acción; otras veces es más complicado, cuando el agente tenga que considerar, largas secuencias de actuaciones hasta que logre encontrar el camino que lleve a la meta, así como se ve en la figura 5.

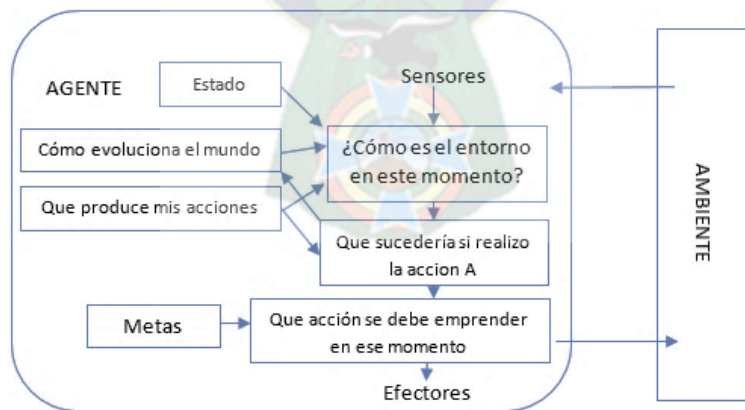


Figura 5 Estructura de agente basado en objetivos.
Fuente: (Choque, 2012)

Por lo tanto, en este tipo de agentes se utiliza el concepto de planificación. Estos son subcampos de IA que se ocupan de encontrar secuencias de acciones que permitan alcanzar las metas de un agente. Se puede observar cómo se añade la función de evaluación de efectos de las acciones, previamente a tomar una actuación definida.

2.3.2.4 Agente basado en utilidades

Este agente permite la toma de decisiones racionales cuando la meta presenta problemas. Por consiguiente, cuando el logro de una meta implica una compilación y solo algunas de ellas se pueden obtener, entonces la utilidad definirá cual es la más adecuada.

Las metas no bastan por si mismas para generar una conducta de alta calidad. Por ejemplo, son muchas las secuencias de acciones que permitan a un agente alcanzar su meta, pero de todas ellas, algunas son mejores en algún aspecto de especial interés, como la rapidez, seguridad, economía, etc. Las metas permiten establecer una tajante distinción entre estados felices o infelices, en tanto que mediante una medida de presentación más general sería posible establecer una comparación entre los diversos estados del mundo (o secuencias de estados) de tanto la utilidad es una función que correlaciona un estado y un número real mediante el cual se caracteriza el correspondiente grado de satisfacción. La completa especificación de la función de utilidad permite la toma de decisiones racionales en dos tipos de casos en los que las metas se encuentran con problemas (Benítez, 2014).

- Cuando el logro de algunas metas implica un conflicto y solo algunas de ellas se pueden obtener, la función de utilidad definirá cual es el compromiso adecuado por el que optar.
- Cuando son varias las metas que el agente podría obtener, pero no existe la certeza de poder lograr ninguna de ellas, la utilidad es una vía para ponderar la posibilidad de tener éxito considerando la importancia de las diferentes metas.

En la figura 6 podemos ver a un agente basado en la utilidad y como se introduce su función de evaluación.

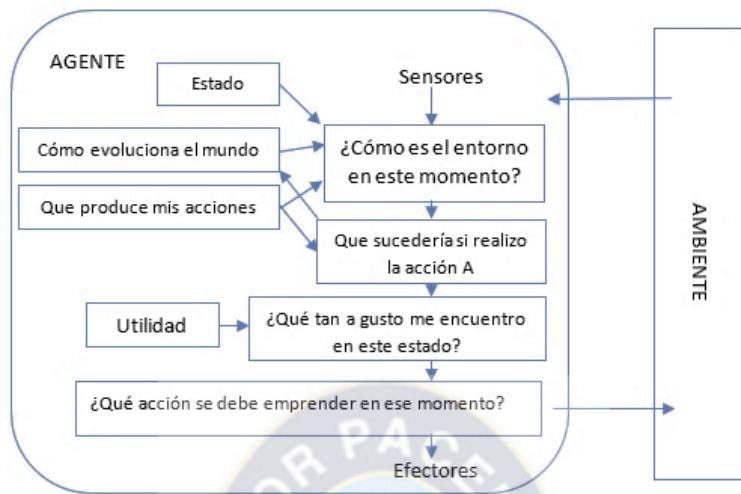


Figura 6 Estructura de agente basado en la utilidad.

Fuente: (Choque, 2012)

2.4 Sistemas Inteligentes

Al igual que ocurre con la propia definición de la IA, se pueden encontrar propuestas en la literatura un gran número de definiciones del concepto de agente, sin que ninguna de ellas haya sido plenamente aceptada por la comunidad científica, siendo quizás la más simple la de Russell (Russell, 1996), que considera un agente como una entidad que percibe y actúa sobre un entorno ver figura 2.2. Basándose en esta definición, se pueden caracterizar distintos agentes de acuerdo a los atributos que posean y que van a definir su comportamiento para resolver un determinado problema (Botti, 1999).

El término agente ha sido usado con dos acepciones. Primero, a partir de Aristóteles y hasta nuestros días, en filosofía el término agente se ha referido a una entidad que actúa con un propósito dentro de un contexto social. Segundo, la noción legal de agente, como la persona que actúa en beneficio de otra con un propósito específico, bajo la delegación limitada de autoridad y responsabilidad, estaba ya presente en el derecho Romano y ha sido ampliamente utilizada en economía (Guerra, 2013).

En el contexto de la computación, el concepto de agente se consolida como una solución a las demandas actuales: ubicuidad, interconexión, inteligencia y delegación. Esto es, en entornos como el que se muestra en la figura 7, donde tenemos una diversidad de dispositivos de cómputo distribuidos en nuestro entorno e interconectados, los agentes inteligentes emergen como la herramienta para delegar adecuadamente nuestro trabajo y abordar esta problemática desde una perspectiva más familiar para usuarios, programadores y diseñadores (Guerra, 2013).

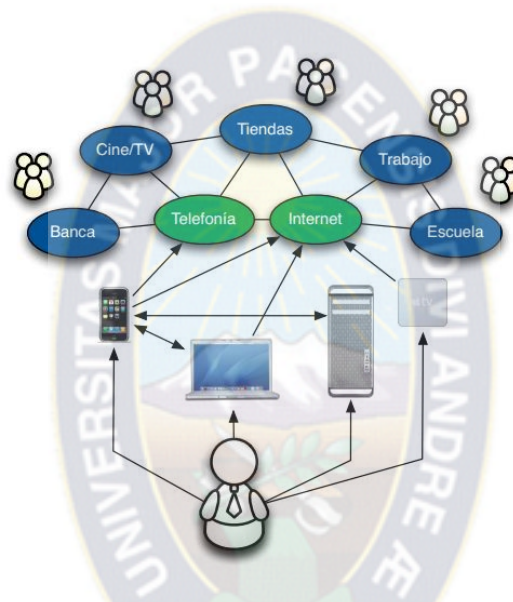


Figura 7 El entorno computacional actual: ubicuo, interconectado, social, ¿inteligente?
Fuente: (Alay, 2014)

Franklin y Graesser argumentan que todas las definiciones del término agente en el contexto de la Inteligencia Artificial, se basan en alguna de estas dos acepciones históricas. Una definición consensual de agente puede ser:

“Un agente es un sistema computacional capaz de actuar de manera autónoma para satisfacer sus objetivos y metas, mientras se encuentra situado persistentemente en su medio ambiente (Guerra, 2013).”

Esta definición que puede parecer demasiado general, provee una abstracción del concepto de agente basada en su presencia e interacción con el medio ambiente como se muestra en la Figura 8, Russell y Subramanian encuentran que esta abstracción presenta al menos tres ventajas:

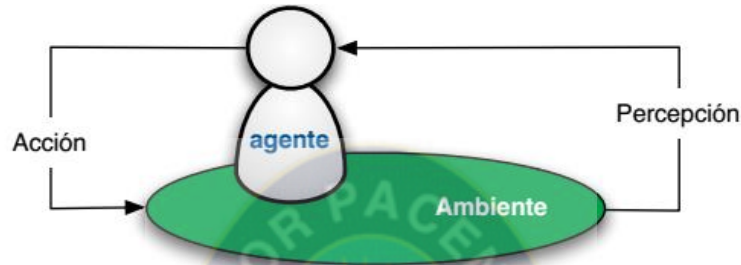


Figura 8 Abstracción de un agente a partir de su interacción con el medio ambiente.
Fuente: (Alay, 2014)

- Nos permite observar las facultades cognitivas de los agentes al servicio de encontrar cómo hacer lo correcto
- Permite considerar diferentes tipos de agente, incluyendo aquellos que no se supone tengan tales facultades cognitivas.
- Permite considerar diferentes especificaciones sobre los sub-sistemas que componen los agentes.

Otra definición de agente inteligente que se hace referencia para el presente trabajo es:

Hípola y Vargas-Quesada (1999) definen agente inteligente “como una entidad software que, basándose en su propio conocimiento, realiza un conjunto de operaciones destinadas a satisfacer las necesidades de un usuario o de otro programa, bien por iniciativa propia o porque alguno de éstos se lo requiere.”

Otra definición que se ajusta al concepto de agentes inteligentes es la dada por Jiménez y Ramos (2000) para los que un agente inteligente es:

“Pieza de software que ejecuta una tarea dada utilizando información recolectada del ambiente, para actuar de manera apropiada hasta completar la tarea de manera exitosa. El software debe ser capaz de auto-ajustarse basándose en los cambios que ocurren en su ambiente de forma tal que un cambio en las circunstancias producirá un resultado esperado.”

En resumen, el objetivo de un agente es el de trabajar en beneficio de los usuarios que utilicen los ambientes donde ellos se desenvuelven, así como de aprender de lo que anteriormente ya ha realizado en ese ambiente y de su interacción con otros agentes que estén trabajando en su ambiente (Carrascosa, 2004).

2.5 Metodología para desarrollar Sistemas Inteligentes

Una metodología tiene que proporcionar todos los elementos necesarios para el desarrollo de un sistema, debe proporcionar directrices precisas de cómo llevar a cabo uno de los pasos a realizar y de las acciones a producir.

Existen varias metodologías orientadas a uso de agentes inteligentes los cuales son: Mas-Common KADS, Gaia, Prometheus son consideradas las de más importancia. En la presente investigación se usará la metodología Prometheus ya que se caracteriza por ser completo y detallado (Padgham, 2011).

2.5.1 Prometheus

La metodología Prometheus define un proceso detallado para especificar, diseñar, implementar y probar/depurar sistemas software orientados a agentes.

Prometheus está orientada a ser una metodología práctica y de propósito general para desarrollar sistemas orientados a agentes inteligentes, fue creado por Lin Padgham y Michael Winikoff, se caracteriza por ser completa y detallada desde la especificación de requerimientos hasta el diseño detallado, además soporta el diseño de agentes basados en metas y planes. Prometheus es diseñado en términos de mensajes entre agentes que forman parte de los protocolos de interacción (Trancon, 2010).

La metodología consta de tres fases de desarrollo, la fase de especificación del sistema, la fase de diseño de la arquitectura y la fase de diseño detallado. La primera fase se enfoca en la identificación de la interfaz del sistema, y determina los objetivos, funcionalidades del sistema; en la segunda fase se utilizan los artefactos de la primera fase para determinar que agentes contendrá el sistema, como interactuarán y que eventos ocurrirán en el entorno. En la tercera se analiza a cada agente y como cumplirá sus tareas dentro del sistema (Padgham, 2011).

Para el desarrollo de la metodología Prometheus, esta especifica las siguientes fases que se describen a continuación:

2.5.1.1 Especificación del sistema

La fase de especificación del sistema consiste en identificar los objetivos y funcionalidades básicas del sistema, desarrollar los escenarios que ilustran el funcionamiento del sistema y especificar las entradas y salidas del sistema.

Los objetivos son un mecanismo para especificar los requisitos del sistema, es decir, permiten identificar por qué razones se está construyendo el sistema. El proceso de especificación de objetivos se recomienda hacer en dos pasos (Padgham, 2011).

El primero consiste en identificar los objetivos iniciales a partir de los requisitos proporcionados. El segundo paso consiste en refinar los objetivos agrupándolos por sus similitudes, de tal modo que pueda obtenerse un grupo de objetivos por cada funcionalidad que deba soportar el sistema.

Es preciso resaltar que una funcionalidad describe un fragmento del comportamiento del sistema. Los escenarios describen el funcionamiento del sistema ilustrándola ejecución normal del sistema, así como las situaciones en las que se den sucesos anormales o alternativos. Un escenario se especifica en varios pasos, haciendo evidente dónde se necesita información del entorno y dónde es necesario realizar actuaciones. La

información recogida del entorno se denomina percepción en la metodología Prometheus y constituye la entrada al sistema (Trancon, 2010).

En base a los mencionado anteriormente se pueden destacar los siguientes puntos:

- Identificación de actores y sus interacciones con el sistema, en forma de percepciones y acciones.
- Desarrollo de escenarios que ilustran la operación del sistema.
- Identificación de las metas y sub-metas del sistema.
- Identificación de datos externos.

Agrupamiento de metas y otros elementos para formar los roles básicos del sistema.

2.5.1.2 Diseño de la arquitectura

La fase de diseño arquitectónico toma los artefactos producidos en la fase anterior para identificar los tipos de agentes que existirán en el sistema y cómo interactuarán entre ellos para alcanzar los objetivos del sistema (Padgham, 2011).

Cada agente debe ser responsable de al menos una de las funcionalidades identificadas en la fase anterior.

Por ello, para identificarlos se Agrupan funcionalidades considerando todas las alternativas posibles de tal modo que finalmente se considere aquella agrupación que tenga una mayor cohesión y un mínimo acoplamiento.

Otra tarea importante en esta fase consiste en especificar las interacciones que se producen entre agentes. En este caso, estas se describen mediante protocolos de interacción que incluyen los mensajes que se envían los agentes entre sí, qué percepciones llegan a los agentes y qué acciones efectúan sobre el entorno (Trancon, 2010).

Y se destacan los siguientes puntos:

- Determinar los tipos de agentes.
- Desarrollar los protocolos de interacción.
- Desarrollar el diagrama general del Sistema.

2.5.1.3 Diseño detallado

Por último, la fase de diseño detallado consiste en desarrollar la estructura interna de cada agente identificado previamente y detallar cómo llevar a cabo sus tareas dentro del sistema global.

Para ello, se especifican las capacidades necesarias que cada agente tiene para satisfacer sus responsabilidades, además de desarrollar los protocolos con el objetivo de indicar el procesamiento interno de cada agente individualmente (Trancon, 2010).

Y mencionamos los siguientes puntos principales de esta fase, como se enuncia a continuación:

- Definir los detalles internos de cada agente y especificar como los agentes realizarán sus tareas.
- Cada agente es refinado en términos de sus: Capacidades, Eventos internos, Planes y estructuras de datos.
- Un diagrama general de capacidad captura la estructura de los
- planes para la capacidad y los eventos asociados con estos planes.
- El comportamiento dinámico se describe mediante los diagramas de procesos basados en los protocolos de interacción.

Una vez especificado el sistema se utiliza la herramienta Prometheus Design Tool¹⁵ (PDT) para generar el código que sirve de base para implementar la aplicación.

¹⁵ Editor gráfico que soporta las tareas de diseño especificadas dentro de la metodología Prometheus para diseñar sistemas de agentes.

La herramienta PDT permite llevar a cabo el diseño de un Sistema Multi-Agente¹⁶ (SMA) siguiendo la metodología Prometheus (Winikoff, 2012).

2.6 Machine Learning

Es una rama de la Inteligencia Artificial y se dedica al estudio de los agentes, programas que aprenden o evolucionan basados en su experiencia, para realizar una tarea determinada cada vez mejor. El objetivo principal de todo proceso de aprendizaje es utilizar la evidencia conocida para poder crear una hipótesis y poder dar una respuesta a nuevas situaciones no conocidas (Mitchell, 1997).

Según Andrés Gonzales especialista en la materia, Machine Learning es una disciplina científica del ámbito de la Inteligencia Artificial que crea sistemas aprenden automáticamente. Aprender en este contexto quiere decir identificar patrones complejos en millones de datos. La máquina que realmente aprende es un algoritmo que revisa los datos y es capaz de predecir comportamientos futuros. Automáticamente, también en este contexto, implica que estos sistemas se mejoran de forma autónoma con el tiempo, sin intervención humana.

Es pocas palabras, con Machine Learning se puede pasar de ser reactivos a ser proactivos. Los datos históricos del conjunto de los clientes, debidamente organizados y tratados en bloque, generan una base de datos que se puede explotar para predecir futuros comportamientos, favorecer aquellos que mejoran los objetivos de negocio y evitar aquellos que son perjudiciales (Solano, 2011).

Esa cantidad ingente de datos son imposibles de analizar por una persona para sacar conclusiones y menos todavía para hacer predicciones. Los algoritmos en cambio sí pueden detectar patrones de comportamiento contando con las variables que le proporcionamos y

¹⁶ Sistema compuesto por múltiples agentes inteligentes que interactúan entre ellos.

descubrir cuáles son las que han llevado, en este caso, a darse de baja como cliente (Gonzalez, 2014).

2.6.1 Tipos de aprendizajes para Machine Learning

El aprendizaje automático toma en cuenta a los diferentes algoritmos los agrupan en función a la salida de los mismo, algunos tipos de algoritmos son:

2.6.1.1 Aprendizaje supervisado

En esta el algoritmo produce una función que establece una correspondencia entre las entradas y salidas deseadas del sistema, por ejemplo, de este algoritmo es el problema de clasificación, donde el sistema de aprendizaje trata de etiquetar o clasificar una serie de vectores utilizando una entre varias categorías clases. La base de conocimiento del sistema está formada por ejemplos de etiquetados anteriores. Este tipo de aprendizaje puede llegar a ser muy útil en problemas de investigación biológica, biología computacional y bioinformática.

2.6.1.2 Aprendizaje no supervisado

Todo el proceso de modelado se lleva a cabo sobre u conjunto de ejemplos formado tan solo por entradas al sistema. No se tiene información sobre las categorías de esos ejemplos. Por lo tanto, en este caso el sistema tiene que ser capaz de reconocer patrones para poder etiquetar las nuevas entradas.

2.6.1.3 Aprendizaje semi supervisado

Este tipo de algoritmos combinan los dos algoritmos anteriores para poder clasificar de manera adecuada. Se tiene en cuenta los datos marcados y los no marcados.

2.6.1.4 Aprendizaje por refuerzo

Aprende observando el mundo que le rodea. Su información de entrada es el feedback que obtiene del mundo exterior como respuesta a sus acciones. Por lo tanto, el sistema aprende a base de prueba y error.

2.6.1.5 Transducción

Similar al aprendizaje supervisado, pero no construye de forma explícita una función. Trata de predecir las categorías de los futuros ejemplos basándose en los ejemplos de entrada, sus respectivas categorías y de los nuevos ejemplos al sistema.

2.6.1.6 Aprendizaje multi-tarea

Métodos de aprendizaje que usan conocimiento previamente aprendido por el sistema de cara a enfrentarse a problemas parecidos a los ya vistos.

2.6.2 Ámbitos de aplicación de Machine Learning

El campo de aplicación práctica depende de la imaginación y de los datos que estén disponibles. Estos son algunos ejemplos más:

- Detectar fraude en transacciones.
- Predecir de fallos en equipos tecnológicos.
- Prever qué empleados serán más rentables el año que viene (el sector de los Recursos Humanos está apostando seriamente por el Machine Learning).
- Seleccionar clientes potenciales basándose en comportamientos en las redes sociales, interacciones en la web.
- Predecir el tráfico urbano.
- Saber cuál es el mejor momento para publicar tuits, actualizaciones de Facebook.
- Hacer pre diagnósticos médicos basados en síntomas del paciente.

- Cambiar el comportamiento de una app móvil para adaptarse a las costumbres y necesidades de cada usuario.
- Detectar intrusiones en una red de comunicaciones de datos.
- Decidir cuál es la mejor hora para llamar a un cliente.

Machine Learning puede ser utilizado en diferentes las diferentes áreas y aplicadas de distintas maneras ya que se la considera como el Big Data inteligente, a continuación, se muestran las distintas aplicaciones que se le dan en la siguiente Tabla 2.

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Procesamiento del Lenguaje Natural	Análisis sintáctico y morfológico de los textos. Extracción de información, Clasificación Automática de Documentos, Agrupamiento Semántico, entre otras tareas se cubren utilizando técnicas de ML.
Sistemas de recuperación de información	Los buscadores de internet utilizan de ML para mejorar la performance de sus búsquedas y confeccionar rankings personalizados según la experiencia de los usuarios.
Diagnostico medico	Se utilizan técnicas de ML para asistir a médicos en el diagnostico según la historia clínica y los síntomas que presenta el paciente.
Ciencias biológicas	Para la clasificación de especies, reconocimiento de tumores o arritmias o patrones en cadenas de ADN.
Finanzas e Industria bancaria	Utilizando modelos de riesgo crediticio para clasificar a los solicitantes según su nivel de cumplimiento esperado en el pago de las cuotas del crédito. También existen modelos de fraude de consumo de tarjetas de crédito y de predicción de comportamientos en el mercado de valores.
Juegos	Ya existen muchos juegos como las damas o ajedrez, donde programas de computadora que han sido entrenadas con técnicas de ML superan a los campeones mundiales.

Robótica	Utilizan Modelos de ML para regular el desplazamiento de robots, planificación de tareas entre otras tareas.
----------	--

Tabla 2 Aplicaciones del Aprendizaje Automático o Machine Learning.
Fuente: (Rodríguez, 2011).

Este tipo de aprendizaje intenta eliminar toda necesidad de intuición o conocimiento experto de los procesos de análisis de datos, mientras otros tratan de establecer un marco de colaboración entre los expertos y la computadora. Y esta va relacionada con la estadística (Jou, 2016).

2.6.3 Diagnóstico médico con Machine Learning

El almacenamiento masivo de datos en el sector salud es una realidad. Cada vez que un paciente acude a la consulta, va a la farmacia o se somete a alguna prueba médica se genera información relativa a su salud. El reto en cuanto a la gestión de información se sitúa ahora en la analítica; convertir los datos en inteligencia (Vahabzadeh, 2016).

En este ámbito, destaca el papel del ‘machine learning’. En Comparte Innovación ya destacamos su importancia y relevancia en el sector salud por la posibilidad de generalizar comportamientos a partir de información estructurada suministrada en forma de modelos. A través de aplicaciones, esta tecnología sería capaz de ayudar a los profesionales médicos a diagnosticar enfermedades basándose en datos recogidos en todo el mundo.

Julio Mayol, Profesor de Cirugía en la UCM, director de Innovación del HCSC y Codirector Madrid-MIT M + Visión, también ha destacado la analítica de datos y el ‘machine learning’ como dos grandes tendencias en el mundo sanitario.

Es el caso de una investigación realizada por un equipo de la Universidad Carnegie Mellon, en Pensilvania (Estados Unidos) que ha obtenido gratos resultados en el diagnóstico de autismo. La realización de pruebas de resonancia magnética ha permitido observar la

reacción cerebral de 34 personas al escuchar una serie de palabras. En un sistema de ‘machine learning’, se logró reconocer en el 97% de los casos si la persona era autista o no. Se trata del principio del diagnóstico predictivo a través del aprendizaje inteligente de datos (Krause, 2016).

La combinación del Big Data junto con las grandes posibilidades del ‘machine learning’ comienza a dar sus frutos en el campo de la investigación científica y médica. Por ejemplo, la detección inteligente de determinados biomarcadores cancerígenos en individuos posibilitaría la predicción de tumores mucho antes de que éstos apareciesen; un paso increíble y definitivo en la lucha contra el cáncer.

Y es que la detección temprana de biomarcadores también influye en el diagnóstico precoz de trastornos mentales. Por ejemplo, la depresión se encuentra actualmente como la principal causa de discapacidad en países como Estados Unidos y, en muchas ocasiones, su aparición podría estar relacionada con determinados factores. La posibilidad de predecir las características de la depresión de una persona no sólo facilitaría su diagnóstico, también el tratamiento de una enfermedad que, en ocasiones, resulta complicado (Krause, 2016).

2.6.4 K-means

El algoritmo de agrupamiento k-means busca una partición de los datos tal que cada punto esté asignado al grupo cuyo centro (llamado centroide, pues no tiene por qué ser un punto de los datos) sea más cercano. Se le debe indicar el número k de clusters deseado, pues por sí mismo no es capaz de determinarlo.

A grandes rasgos el algoritmo es el siguiente:

- 1) Elegir k puntos al azar como centroides iniciales. No tienen por qué pertenecer al conjunto de datos, aunque sus coordenadas deben estar en el mismo intervalo.
- 2) Asignar cada punto del conjunto de datos al centroide más cercano, formándose así k grupos.

3) Recalcular los nuevos centroides de los k grupos, que estarán en el centro geométrico del conjunto de puntos del grupo.

4) Volver al paso 2 hasta que las asignaciones a grupos no varíen o se hayan superado las iteraciones previstas.

El término *k-means* fue utilizado por primera vez por James MacQueen en 1967, aunque la idea se remonta a Hugo Steinhaus en 1957. El algoritmo estándar fue propuesto por primera vez por Stuart Lloyd en 1957 como una técnica para modulación por impulsos codificados, aunque no se publicó fuera de los laboratorios Bell hasta 1982. En 1965, E. W. Forgy publicó esencialmente el mismo método, por lo que a veces también se le nombra como Lloyd-Forgy. Una versión más eficiente fue propuesta y publicada en Fortran por Hartigan y Wong en 1975-1979.

Analizando el algoritmo estándar propuesto utiliza técnica de refinamiento iterativo. Dado un conjunto inicial de k centroides $m_1^{(1)}, \dots, m_k^{(1)}$, el algoritmo continúa alternando entre dos pasos:

Paso de asignación: Asigna cada observación al grupo con la media más cercana (es decir, la partición de las observaciones de acuerdo con el diagrama de Voronoi generado por los centroides), como se muestra en la ecuación 2.1.

$$S_i^{(t)} = \{x_p: |x_p - m_i^{(t)}| \leq |x_p - m_j^{(t)}| \forall 1 \leq j \leq k\} \quad (2.1)$$

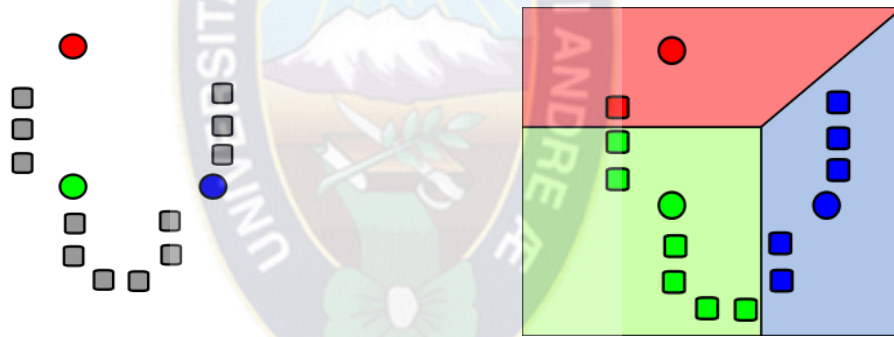
Donde cada x_p va exactamente dentro de un $S_i^{(t)}$, incluso aunque pudiera ir en dos de ellos.

Paso de actualización: Calcular los nuevos centroides como el centroide de las observaciones en el grupo.

$$m_i^{(t+1)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j \quad (2.2)$$

El algoritmo se considera que ha convergido cuando las asignaciones ya no cambian.

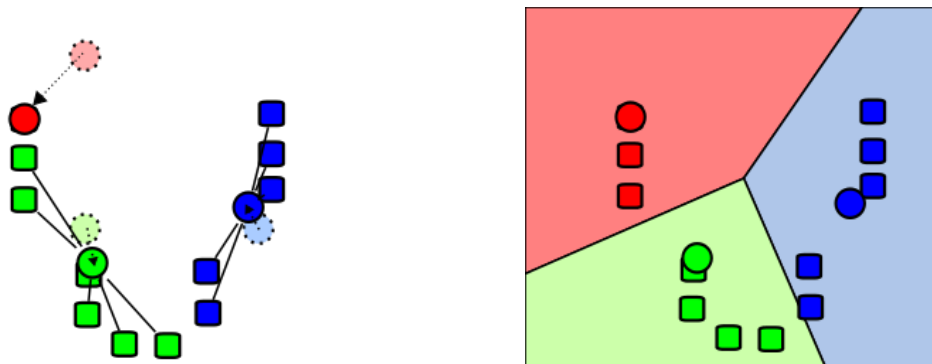
Los métodos de inicialización de *Forgy* y *Partición Aleatoria* son comúnmente utilizados (Hamerly, 2002). El método *Forgy* elige aleatoriamente k observaciones del conjunto de datos y las utiliza como centroides iniciales. El método de *partición aleatoria* primero asigna aleatoriamente un clúster para cada observación y después procede a la etapa de actualización, por lo tanto, calcular el clúster inicial para ser el centro de gravedad de los puntos de la agrupación asignados al azar. El método *Forgy* tiende a dispersar los centroides iniciales, mientras que la *partición aleatoria* ubica los centroides cerca del centro del conjunto de datos. Según Hamerly y compañía, (Hamerly, 2002). el método de *partición aleatoria* general, es preferible para los algoritmos tales como los *k-harmonic means* y *fuzzy k-means*. Para *Expectation Maximization* y el algoritmo estándar el método de *Forgy* es preferible. El algoritmo estándar es el siguiente.



- 1) k centroides iniciales (en este caso $k=3$) son generados aleatoriamente dentro de un conjunto de datos (mostrados en color).
- 2) k grupos son generados asociándole el punto con la media más cercana. La partición aquí representa el diagrama de Voronoi ¹⁷ generado por los centroides ¹⁸.

¹⁷ Los polígonos de Thiessen, nombrados en honor al meteorólogo estadounidense Alfred H. Thiessen, son una construcción geométrica que permite construir una partición del plano euclídeo.

¹⁸ En geometría, el centroide o baricentro de un objeto X perteneciente a un espacio n -dimensional es la intersección de todos los hiperplanos que dividen a X en dos partes de igual n -volumen con respecto al hiperplano



- 3) El centroide de cada uno de los k grupos se recalcula. 4) Pasos 2 y 3 se repiten hasta que se logre la convergencia.

Figura 9 Pasos que usa el algoritmo K-means.

Fuente: (Rodriguez, 2011).

Como se trata de un algoritmo heurístico, no hay ninguna garantía de que convergen al óptimo global, y el resultado puede depender de los grupos iniciales. Como el algoritmo suele ser muy rápido, es común para ejecutar varias veces con diferentes condiciones de partida. Sin embargo, en el peor de los casos, k -means puede ser muy lento para converger: en particular, se ha demostrado que existen conjuntos de determinados puntos, incluso en 2 dimensiones, en la que k -means toma tiempo exponencial, es decir $2O(n)$, para converger. Estos conjuntos de puntos no parecen surgir en la práctica: esto se ve corroborado por el hecho de que en la mayoría de los casos el tiempo de ejecución de k -means es polinomial.

El "paso de asignación" también se le conoce como paso expectativo, la "etapa de actualización", como paso maximización, por lo que este algoritmo una variante del algoritmo generalizado Expectation-maximization.

2.6.5 Aplicaciones de K-means

Agrupamiento K-means cuando se usan heurísticas como el algoritmo de Lloyd es fácil de implementar incluso para grandes conjuntos de datos. Por lo que ha sido ampliamente usado en muchas áreas como segmentación de mercados, visión por computadoras, geo estadística,

astronomía y minería de datos en agricultura. También se usa como pre procesamiento para otros algoritmos, por ejemplo, para buscar una configuración inicial.

2.6.6 Support Vector Machine

Las máquinas de vectores soporte (SVM, del inglés Support Vector Machine) tienen su origen en los trabajos sobre la teoría del aprendizaje estadístico y fueron introducidas en los años 90 por Vapnik y sus colaboradores Boser et al. (1992), Cortes & Vapnik (1995). Aunque originariamente las SVMs fueron pensadas para resolver problemas de clasificación binaria, actualmente se utilizan para resolver otros tipos de problemas (regresión, agrupamiento, multclasificación). También son diversos los campos en los que han sido utilizadas con éxito, tales como visión artificial, reconocimiento de caracteres, categorización de texto e hipertexto, clasificación de proteínas, procesamiento de lenguaje natural, análisis de series temporales.

De hecho, desde su introducción, han ido ganando un merecido reconocimiento gracias a sus sólidos fundamentos teóricos.

Dentro de la tarea de clasificación, las SVMs pertenecen a la categoría de los clasificadores lineales, puesto que inducen separadores lineales, también llamados hiperplanos, ya sea en el espacio original de los ejemplos de entrada, si éstos son linealmente separables o cuasi separables (ruido), o en un espacio transformado (espacio de características), si los ejemplos no son linealmente separables en el espacio original. Como se verá más adelante, la búsqueda del hiperplano de separación en estos espacios transformados, normalmente de muy alta dimensión, se hará de forma implícita utilizando las denominadas funciones kernel (Ramirez, 2012).

Mientras la mayoría de los métodos de aprendizaje se centran en minimizar los errores cometidos por el modelo generado a partir de los ejemplos de entrenamiento (error empírico), el sesgo inductivo asociado a las SVMs radica en la minimización del denominado riesgo estructural. La idea es seleccionar un hiperplano de separación que equidista de los ejemplos

más cercanos de cada clase para, de esta forma, conseguir lo que se denomina un margen máximo a cada lado del hiperplano. Además, a la hora de definir el hiperplano, sólo se consideran los ejemplos de entrenamiento de cada clase que caen justo en la frontera de dichos márgenes. Estos ejemplos reciben el nombre de vectores soporte. Desde un punto de vista práctico, el hiperplano separador de margen máximo ha demostrado tener una buena capacidad de generalización, evitando en gran medida el problema del sobreajuste a los ejemplos de entrenamiento (Burges, 2008).

Desde un punto de vista algorítmico, el problema de optimización del margen geométrico representa un problema de optimización cuadrático con restricciones lineales que puede ser resuelto mediante técnicas estándar de programación cuadrática. Las propiedades de convexidad exigida para su resolución garantizan una solución única, en contraste con la no unicidad de la solución producida por una red neuronal artificial (Burges, 2008).

2.6.7 Aplicaciones de Support Vector Machine

Support Vector Machine o máquina de vector de soporte tiene diferentes usos y se han utilizado con éxito en campos como la recuperación de información, la categorización de textos, el reconocimiento de escritura o la clasificación de imágenes (Burges, 2008).

2.7 Azure Machine Learning

Azure Machine Learning es un servicio de análisis predictivo en la nube que permite crear e implementar rápidamente modelos predictivos como soluciones de análisis.

Aprendizaje automático de Azure no solo proporciona herramientas para análisis predictivos de modelos, sino que también proporciona un servicio totalmente administrado que se puede usar para implementar los modelos predictivos como servicios web listos para consumir, ver figura 9 en ella se muestra el panel de administración básico de Azure Machine Learning (Burges, 2008).

La terminología del aprendizaje automático puede resultar confusa. Aquí se muestran definiciones de términos clave que le ayudarán. Use los comentarios que aparecen a continuación para indicarnos cualquier otro término del que le gustaría ver una definición.

Exploración de datos, análisis descriptivo y análisis predictivos

Exploración de datos es el proceso de recopilación de información sobre un conjunto de datos grande y a menudo no estructurado para encontrar características para análisis más detallados.

Minería de datos hace referencia a la exploración de datos automatizada.

Análisis descriptivo es el proceso de análisis de un conjunto de datos con el fin de resumir lo que sucedió. La inmensa mayoría de análisis de negocios, como los informes de ventas, las métricas de web y el análisis de redes sociales, son descriptivos.

Análisis predictivos es el proceso de creación de modelos de datos históricos o actuales con el fin de pronosticar resultados futuros.

Aprendizaje supervisado y no supervisado

Aprendizaje supervisado se ha entrenado con datos etiquetados; es decir, con datos formados por ejemplos de las respuestas deseadas. Por ejemplo, se podría preparar un modelo que identifique el uso de tarjetas de crédito fraudulentas desde un conjunto de datos en el cual se etiqueten los puntos de datos que indiquen cargos fraudulentos y cargos válidos conocidos. Se supervisa la mayoría del aprendizaje automático.

Aprendizaje no supervisado se utiliza en los datos sin etiquetas y el objetivo es buscar relaciones en los datos. Por ejemplo, puede querer buscar agrupaciones de datos demográficos del cliente con hábitos de compra similares.

Entrenamiento y evaluación de modelos, un modelo de aprendizaje automático es una abstracción de la pregunta que intenta responder o el resultado que desea predecir. Modelos se entrenan y se evalúan a partir de datos existentes (Burges, 2008).

Datos de aprendizaje, cuando entrena un modelo a partir de datos, utiliza un conjunto de datos conocido y realiza los ajustes necesarios en el modelo en función de las características de datos para obtener la respuesta más precisa. En Aprendizaje automático de Azure, se crea un modelo a partir de un módulo de algoritmo que procesa los datos de entrenamiento y módulos funcionales, como un módulo de puntuación (Burges, 2008).

En el aprendizaje supervisado, si está entrenando un modelo de detección de fraudes, usará un conjunto de transacciones que se etiquetan como fraudulentas o válidas. Podrá dividir el conjunto de datos de forma aleatoria y usar una parte para entrenar el modelo y otra parte para probar o evaluar el modelo.

Datos de evaluación, una vez entrenado un modelo, se evalúa con los datos restantes de la prueba. Puede usar los datos de los que ya conoce los resultados, por lo que puede saber si su modelo predice con precisión (Burges, 2008).

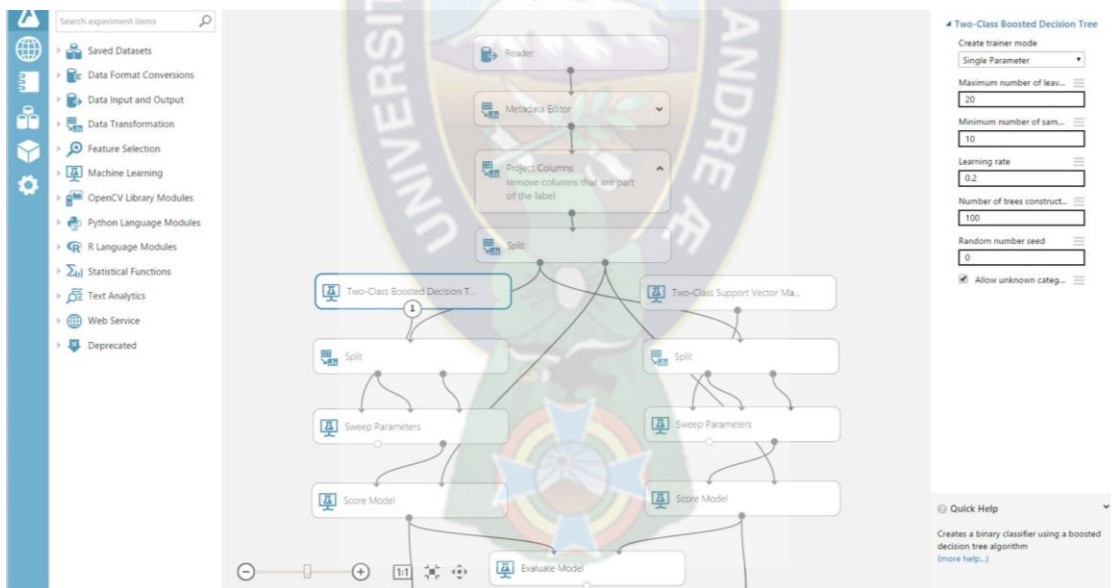


Figura 10 Panel Azure Machine Learning.
Fuente: (Microsoft, 2017)

2.7.1 Experimento

Mediante un área de trabajo visual e interactiva, se arrastran y colocan conjuntos de datos y módulos de análisis en un lienzo interactivo. Luego se conectan para formar un experimento que se ejecuta en Machine Learning Studio. Se crea un modelo, se entrena, se puntúa y se prueba (Azure, 2017).

Puede iterar en el modelo de diseño y editar el experimento y ejecutarlo hasta que le proporcione los resultados que busca. Cuando el modelo está listo, puede publicarlo como un servicio web para que otros puedan enviarle nuevos datos y obtener a cambio predicciones, ver figura 10.

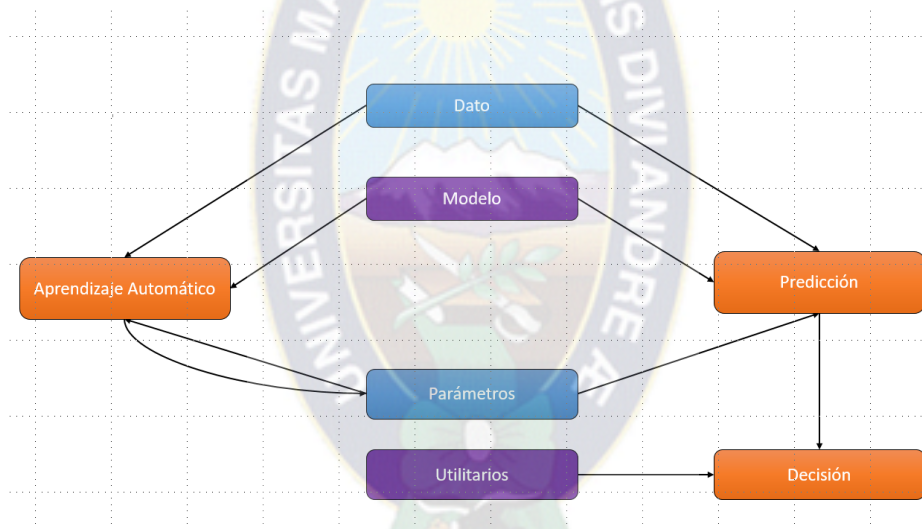


Figura 11 Flujo básico de un experimento en Azure Machine Learning.
Fuente: (Microsoft, 2017)

2.8 Kinect

Kinect fue construido con el objetivo de revolucionar la experiencia de juego mediante un sistema de interacción completamente nuevo: interacción natural con el videojuego utilizando únicamente movimientos del cuerpo y comandos de voz.

Además de la tecnología empleada, la base de este enfoque es el entendimiento del movimiento del cuerpo, es decir, la computadora debe interpretar y entender el movimiento del usuario antes de que el videojuego pueda responderle. Este hecho implica que el procesamiento debe ser en tiempo real para que el usuario no perciba una demora durante la interacción, lo cual ha sido muy complejo de lograr en trabajos previos, dado que, además de que el ambiente debe ser controlado (iluminación, marcadores de color, tonos de piel o uso de dispositivos sensores como guantes o trajes de movimiento), el tiempo de procesamiento es muy alto (Kinect, 2015).

Kinect es una tecnología de control para la consola Xbox 360 de Microsoft que permite interactuar con un videojuego sin la necesidad de usar un control; utiliza la tecnología de cámara de profundidad desarrollada por la compañía israelí *PrimeSense* la cual permite a Kinect “ver” la escena (al usuario y su entorno en tres dimensiones) en tiempo real.

Las imágenes de profundidad se obtienen con Kinect y posteriormente se procesan por software en la consola para interpretar la escena, detectar personas y rastrear sus movimientos (rastreo del esqueleto). Kinect provee captura tridimensional del cuerpo en un esqueleto virtual formado por un conjunto de puntos 3D (articulaciones) relacionados a las partes del cuerpo. Esta abstracción permite detectar gestos del cuerpo al comparar los valores de las articulaciones virtuales contra los valores propuestos de un gesto específico.

El impacto de Kinect fue más allá de los videojuegos, incluso se rompió el récord Guinness por sus ventas. Su bajo costo, amplia disponibilidad y el desarrollo de bibliotecas para accederlo han permitido que se experimente con él en el desarrollo de aplicaciones creativas para buscar nuevas formas de interactuar con la computadora.

La funcionalidad estrella del sensor Kinect es el *Skeletal tracking*. *Skeletal tracking* significa seguimiento de esqueleto y se basa en un algoritmo que logra identificar partes del cuerpo de las personas que están en el campo de visión del sensor. Por medio de este algoritmo podemos obtener puntos que hacen referencia a las partes del cuerpo de una persona y hacer un

seguimiento de estos identificando gestos y/o posturas (DX, 2011) a continuación la figura 11 muestra los sensores que actúan.

Kinect Data Sources

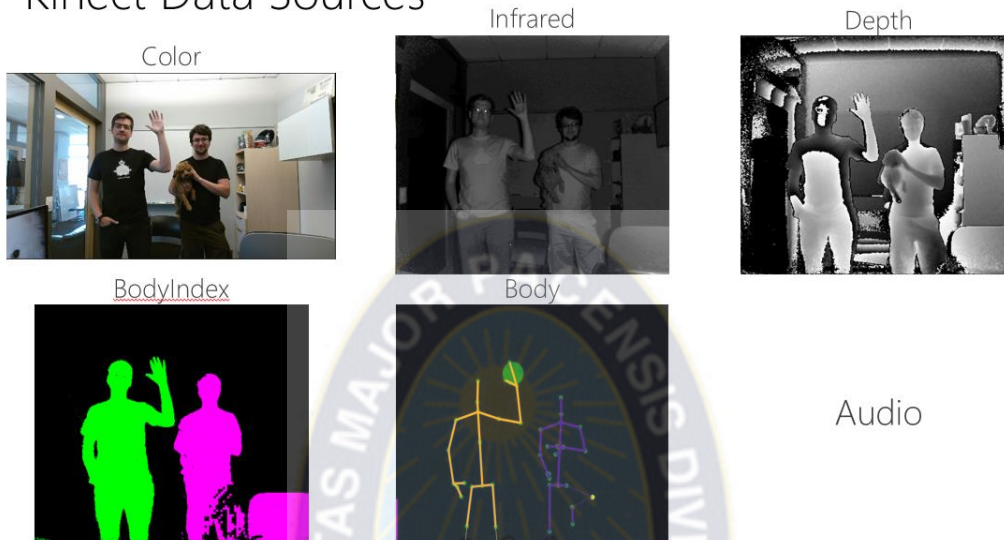


Figura 12 Reconocimiento del cuerpo mediante el sensor Kinect.

Fuente: (Kinect, 2015)

La tecnología Kinect de acuerdo a las palabras de Robert J. Bach. Kinect fue anunciado por primera vez el 1 de junio de 2009 en la Electronic Entertainment Expo 2009 como “Project Natal” el dispositivo cuenta con una cámara RGB, un sensor de profundidad, un micrófono de múltiples matrices y un procesador personalizado que ejecuta el software patentado, que proporciona captura de movimiento de todo el cuerpo en 3D, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz. El micrófono de matrices del sensor de Kinect permite a la Xbox 360 llevar a cabo la localización de la fuente acústica y la supresión del ruido ambiente.

2.8.1 Arquitectura de Kinect

La estructura del sensor Kinect es similar a una cámara web. Incluye una cámara de profundidad, una cámara RGB y una matriz de 4 micrófonos, que aíslan las voces del ruido

ambiental permitiendo utilizar al Kinect como un dispositivo para charlas y comandos de voz en la consola Xbox. Se encuentra sobre una base motorizada, controlada por un acelerómetro de 3 ejes, que le permite rotar horizontalmente para ajustar el campo de vista de las cámaras para ver el cuerpo completo del usuario.

La Figura 12 muestra los componentes de hardware del procesador de imagen de Kinect.

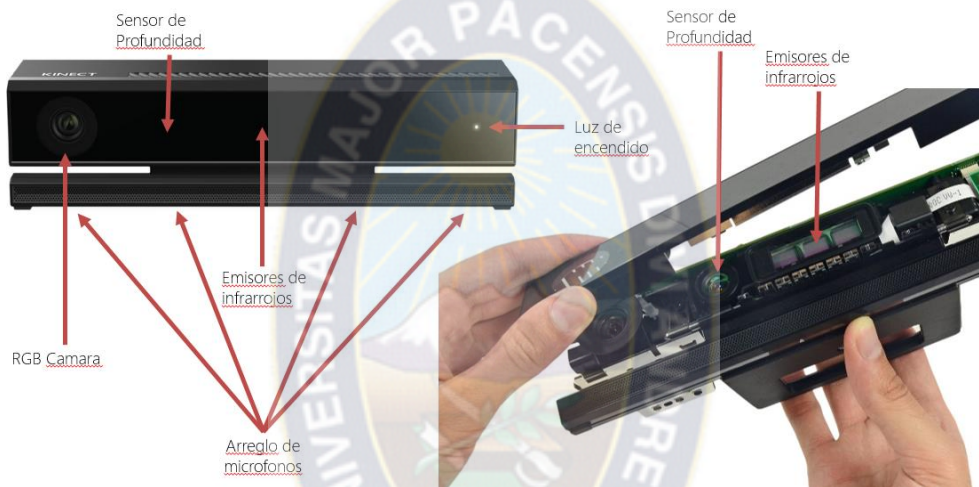


Figura 13 Diagrama de hardware de Kinect.

Fuente: (Kinect, 2015)

Kinect funciona bajo un esquema maestro-esclavo, donde el maestro es la computadora y el esclavo es el Kinect. El chip genera y mantiene en memoria los cuadros 10 de imagen de profundidad y color a una velocidad de 30 cps (cuadros por segundo). El acceso a estos datos se realiza a través de un puerto USB 2.0 especial¹¹. El procesamiento del audio y el control de USB es realizado por un microprocesador Marvell Technology que funciona independientemente al procesamiento de imágenes. La tabla 3 presenta las especificaciones de Kinect.

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN
Campo de visión	70° en horizontal (antes 57°) y 60 en vertical (antes 43°).

	Esto permite poder detectar a más personas dentro de un mismo campo de visión. Hasta 6 jugadores pueden ser detectados simultáneamente. A destacar que esta versión de Kinect no tiene motor de inclinación
Cámara	1920 x 1080 Full HD (antes 640 x 480). Más resolución, más detalle. Permite detectar con más precisión todo el entorno. Capacidad de diferenciar la orientación del cuerpo incluyendo sus manos y pudiendo diferenciar sus dedos. El face-tracking tiene mucho más detalle y permite captar los gestos de la cara. Más calidad de imagen.
Sensor de profundidad	El rango de actuación pasa a ser de 0,5 a 4,5 metros
Conectividad	USB 3.0 Al aumentar la velocidad de la comunicación con el ordenador los datos fluyen más rápido y esto disminuye la latencia del sensor. Pasa de 90ms a 60ms.
Entrada de audio	Esta versión de Kinect viene dotada de una gran mejora en cuanto al reconocimiento de voz y la captación de sonidos. Se ha mejorado la eliminación del ruido ambiente y esto permite captar con más detalle las instrucciones vocales.
Captación de movimiento a oscuras	Ahora Kinect 2 es capaz de reconocer y captar los movimientos, aunque la sala este a oscuras.

Tabla 3 Especificaciones del sensor Kinect.
Fuente: (kinectfordevelopers, 2014)

2.8.2 Rastreo del esqueleto

El rastreo del esqueleto consta de procesar las imágenes de profundidad obtenidas con Kinect para detectar formas humanas e identificar las partes del cuerpo del usuario presente en la

imagen. Cada parte del cuerpo es abstraída como una coordenada 3D o articulación. El conjunto de articulaciones que conforman un esqueleto virtual para cada imagen de profundidad de Kinect, es decir, se obtienen 30 esqueletos por segundo. Las articulaciones generadas varían de acuerdo a la biblioteca de Kinect que se utilice.

Para segmentar cada parte del cuerpo los autores construyeron un clasificador de árboles de decisión aleatorios o bosque aleatorizado de árboles¹⁷ y un conjunto de más de 500.000 imágenes de profundidad de secuencias de humanos (reales y generadas por computadora) de diversas complejidades y estaturas realizando acciones como correr, saltar, nadar y apuntar, entre otras. El clasificador se entrenó con un subconjunto de 100.000 imágenes de profundidad de la base de datos en donde las poses difieren en más de 5 cm. El clasificador no usa información temporal, es decir, busca poses estáticas en cada imagen de entrada y no movimientos entre imágenes de entrada consecutivas.

El clasificador de bosque es un conjunto de T árboles de decisión, donde cada nodo hoja almacena la distribución c_i aprendida, que etiqueta a la parte c_i del cuerpo y los nodos rama contienen en una característica f y un umbral τ .

La técnica de rastreo del esqueleto inicia tomando una sola imagen de profundidad de Kinect (de 640×480 píxeles). Para clasificar un pixel x de la imagen de entrada, se comienza en la raíz de un árbol del clasificador y se evalúa repetitivamente la Ec. 2.1 (que permite saber si un pixel x está cerca o lejos de Kinect en la imagen I) para seguir la rama izquierda o derecha de acuerdo al umbral τ en el nodo. Si la ruta conduce a un nodo hoja, se sabe que el pixel x pertenece a la parte c_i del cuerpo.

Para cada pixel x de la imagen de entrada, la característica f se calcula con:

$$f(I, x) = d_I\left(x + \frac{u}{d_I(x)}\right) - d_I\left(x + \frac{v}{d_I(x)}\right) \quad (2.3)$$

donde $d_I(x)$ es la profundidad del pixel x y los parámetros (u, v) son desplazamientos en coordenadas globales que al normalizarse por $\frac{1}{d_I(x)}$ permiten que la característica sea invariante a la profundidad y a la traslación en el espacio tridimensional.

Finalmente, cada articulación del esqueleto se encuentra a partir del cálculo de la media de cambio (mean- shift) de los pixeles que forman la parte del cuerpo c_i que se relaciona a la articulación de interés, esto se puede ver en la figura 13 el cual muestra la comparación que existe entre las versiones de Kinect 1 y 2 del sensor siendo la característica más relevante la detección de más puntos del cuerpo.

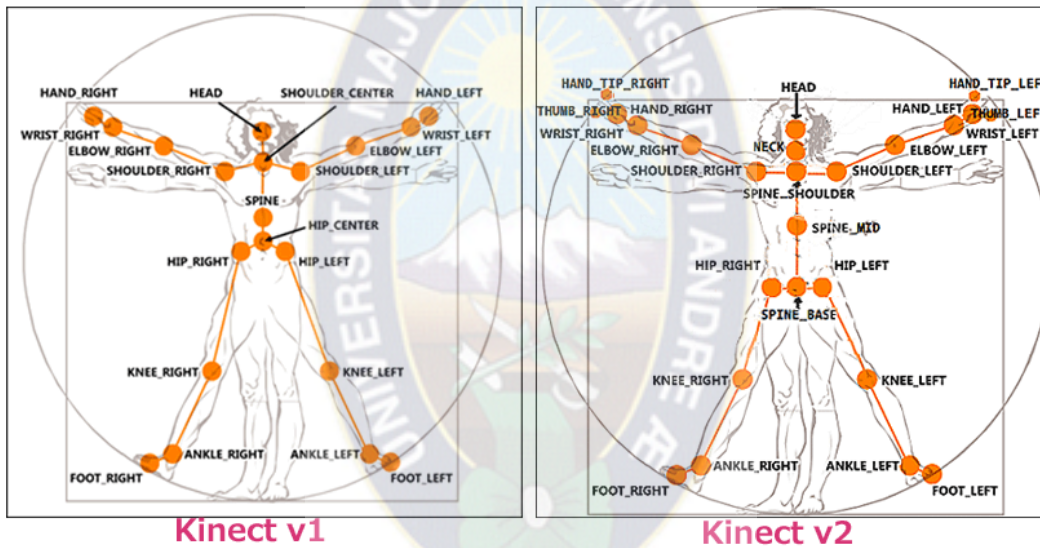


Figura 14 Comparación entre Kinect v1 y v2 mostrando el esqueleto virtual.
Fuente: (Blake, 2013)

2.9 Lesiones de rodilla

La rodilla es una articulación que da movilidad y ayudan a la locomoción de las personas y se componen de hueso, cartílago, ligamentos y líquidos. A su vez estos están compuestos por músculos y los tendones que ayudan a que la rodilla se mueva.

Cuando esta estructura se lastima o se enferma, surgen problemas que se desencadenan en dolor y dificultades para caminar. Y a quienes les pueden padecer de problemas de las rodillas son: Hombres, mujeres y niños de todos los grupos étnicos (NIH, 2014).

Estos pueden ser provocados por:

Osteoartritis de la rodilla, causada por el uso y desgaste del cartílago.

Un golpe o movimiento brusco que cause un esguince o torcedura.

2.9.1 Tipos de lesiones

Existen diversos factores que desencadenan al mal funcionamiento de la rodilla, a continuación, describen los más usuales según el Dr. Roberto Yáñez, Kinesiólogo.

2.9.1.1 Esguince medial

Se produce a raíz de un estiramiento o desgarro de los ligamentos (que son las bandas de tejido que conectan los huesos entre sí y en la rodilla existen 4 tipos) y se pueden producir por una torcedura forzada de la rodilla, al caer de mala manera después de saltar o a raíz de un golpe en el lado interno de la rodilla, entre otros factores. Su recuperación es médica y no necesita intervención quirúrgica (Meds, 2011).

Los principales síntomas son dolor en la zona, inflamación, enrojecimiento, incapacidad para estar de pie sobre la pierna afectada, sensibilidad donde el ligamento lesionado se sujeta a un hueso en la rodilla, como ser entre otros. Los esguinces de rodilla se gradúan de acuerdo con su severidad:

Grado 1: Estiramiento y micro-desgarro del tejido del ligamento

Grado 2: Desgarro parcial del tejido del ligamento. Ligera inestabilidad de la articulación cuando se examina.

Grado 3: Desgarro severo o completo del tejido del ligamento. Inestabilidad significativa de la articulación

2.9.1.2 Ligamento cruzado anterior

El Ligamento cruzado anterior es aquel que conecta el hueso Tibia que es el hueso que soporta la mayor cantidad de peso en la parte inferior de la pierna al fémur (muslo) y el cuál es frecuentemente lesionado en deportes de contacto. Los síntomas iniciales incluyen dolor e hinchazón casi inmediata. Es una lesión grave, que requiere operación y su proceso de rehabilitación alcanza en promedio los 6 meses. Tres son las técnicas que existen para la operación, pero la más habitual dentro del fútbol es la que se denomina hueso-tendón-hueso, donde se toma el injerto delante de la rodilla. Esta permite una fijación y una incorporación a la actividad un poco más rápida (Planoinformativo, 2016)

2.9.1.3 Rotura de meniscos

La lesión de menisco es cada vez menos frecuente en el fútbol o algunos deportes, pero sigue estando presente. Cabe señalar que el menisco es un amortiguador, y como tal se desgasta con el tiempo. En otros casos se lesiona producto de la compresión y torsión de la rodilla. Es operable y allí se reseca el fragmento en forma artroscópica. Se extrae parte del menisco roto y en algunas ocasiones solo es necesario suturar el menisco dañado. Su recuperación va de 1 a 3 meses (Rosa, 2014)

2.9.1.4 Lesión de cartílago

El cartílago es una cubierta de tejido que cubre toda la articulación, y que evita el roce en la misma. Está cubierta puede alterarse por causas mecánicas, es decir, por golpes, giros bruscos o sobrecargas continuas; por lesiones asociadas (LCA o de menisco) o por alteraciones de la rótula.

El cartílago no tiene un grado de cicatrización alto. Una rotura puede formar grietas que terminan liberando fragmentos de cartílago en el espacio articular, que son los denominados

cuerpos libres. Este cuerpo libre termina trabando la rodilla, por lo que es necesario extraerlo a través. Durante la operación, además, se pule y alisa la zona donde se ha producido la lesión (Meds, 2011). El desgaste que sufre el cartílago termina generando una artrosis

2.9.1.5 Rotura tendón rotuliano

Esta lesión, que en su momento afectó al delantero brasileño Ronaldo, se produce por una tendinopatía crónica, y está considerada dentro de las lesiones graves. El tiempo estimado de recuperación supera los 6 meses (Yanez, 2012).

2.9.2 Diagnostico

Los médicos diagnostican los problemas de las rodillas utilizando:

- Antecedentes médicos
- Examen físico

Pruebas diagnósticas tales como radiografías, densitometrías, tomografías computarizadas (CAT scan), imágenes de resonancia magnética (MRI), artroscopias y biopsias.

2.9.3 Tratamiento

Dependiendo a la gravedad de la lesión el médico podría referirle a un fisioterapeuta.¹⁹ El fisioterapeuta desarrollara un programa de ejercicios de rehabilitación para fortalecer la rodilla y estirar los músculos gradualmente. Estos ejercicios varían según el tipo y la gravedad de la lesión que usted tenga. El fisioterapeuta también puede emplear diversas técnicas para que la rodilla se sane más rápido.

En ciertas ocasiones, durante la rehabilitación se utilizan rodilleras, por lo general cuando la lesión ha sido grave (FEM, 2013).

¹⁹ Profesional de la salud que se especializa en el movimiento y la movilidad.

A continuación, se mencionan algunos de los ejercicios, para poder rehabilitar la rodilla

2.9.4 Levantar la pierna extendida

Contraiga el músculo del muslo con la rodilla totalmente extendida sobre la cama, como en Apretar el Cuádriceps. Levante la pierna varias pulgadas. Mantenga por 5 a 10 segundos. Lentamente bájela. Realícelo hasta que el muslo lo sienta agotado, así como se muestra en la figura 14. También puede Ud. levantar la pierna mientras está sentado. Apriete el músculo del muslo por completo y mantenga su rodilla extendida totalmente con la pierna sin apoyar. Realícelo como arriba. Continúe estos ejercicios periódicamente hasta que la fuerza vuelva al muslo completamente (Surgeons, 2012).



Figura 15 Representación del ejercicio con pierna extendida.
Fuente: (Surgeons, 2012)

2.9.5 Bombear con el tobillo

Mueva el pie arriba y abajo rítmicamente contrayendo los músculos del peroné y la tibia. Realice este ejercicio periódicamente para 2 a 3 minutos, dos o tres veces por hora en la sala de recuperación. Este ejercicio se realiza hasta que usted se recupere totalmente y toda la

hinchazón del tobillo y de la parte baja de la pierna haya descendido (Surgeons, 2012). A continuación, la figura 15 muestra la forma de realizar este ejercicio.



Figura 16 Representación del ejercicio bombear con el tobillo.
Fuente: (Surgeons, 2012)

2.9.6 Ejercicios de rodilla extendida

Ponga una pequeña toalla enrollada arriba del talón de modo que el talón no toque la cama. Apriete el muslo. Intente de totalmente extender la rodilla y tocar el dorso de la rodilla a la cama. Así como la figura 16; mantenga la rodilla totalmente extendida para 5 a 10 segundos. Realícelo hasta que el muslo lo sienta agotado (Surgeons, 2012).



Figura 17 Representación del ejercicio rodilla extendida.
Fuente: (Surgeons, 2012)

2.9.7 Doblar la rodilla con apoyo

Doble la rodilla cuanto más posible mientras deslice el pie, ver figura 17. Mantenga la rodilla en una posición doblada cuánto más posible 10 segundos y entonces extiéndala. Repítalo varias veces hasta que la pierna la sienta agotada o hasta que Ud. pueda doblar la rodilla completamente (Surgeons, 2012).



Figura 18 Representación del ejercicio doblar la rodilla con apoyo.
Fuente: (Surgeons, 2012)

2.9.8 Doblar la rodilla con apoyo mientras está sentado

Mientras se sienta al borde de la cama o en una silla con el muslo apoyado, ponga un pie detrás del talón de la rodilla operada para apoyo. Lentamente doble la rodilla tanto como pueda. Mantenga la rodilla en esta posición por 5 a 10 segundos. Repita varias veces hasta que la pierna la sienta agotada o hasta que Ud. pueda doblar la rodilla completamente, ver figura 18 (Surgeons, 2012).



Figura 19 Representación del ejercicio doblar con la rodilla con apoyo, sentado.
Fuente: (Surgeons, 2012)

Estas son algunos ejercicios que el profesional fisioterapeuta utiliza para la rehabilitar la rodilla para los distintos tipos de lesiones que sufran en la rodilla.

2.10 Model View View-Model

2.10.1 Model

El modelo, dentro de MVVM es el encargado de representar el modelo del negocio, proveyendo de esta manera la base necesaria para la manipulación de los datos de la aplicación, además parte del modelo se lo puede usar como clases POCO (Plain Old CLR Objects) para poder usarlas con Entity Framework Code First o algún otro ORM. Cabe resaltar que, en el modelo, no debería de existir ninguna lógica de negocio o código que afecte a como se visualizan sus datos en pantalla (EcuRed, 2016)

2.10.2 View

La vista es la parte encargada de la parte visual de nuestra aplicación, no teniéndose que ocupar en ningún momento en el manejo de datos. En MVVM la vista tiene un rol activo, esto significa que en algún momento la vista recibirá o manejará algún evento (Clic en un

botón, alguna tecla presionada) y tendrá que comunicarse con el modelo, para poder cumplir el requerimiento (EcuRed, 2016).

2.10.3 View-Model

El ViewModel (modelo de vista en español) es el encargado de ser la capa intermedia entre el modelo y la vista, procesando todas las peticiones que tenga la vista hacia el modelo, además de tener que ocuparse de manejar las reglas del negocio, la comunicación con aplicaciones externas o consumir datos desde alguna fuente (Bases de Datos, Web Services, Sensores²⁰) (EcuRed, 2016).

A continuación, en la figura 19 se aprecia la estructura de este patrón arquitectónico para el desarrollo de software, el cómo se ve es bidireccional y donde cada componente está separado unas de otra.

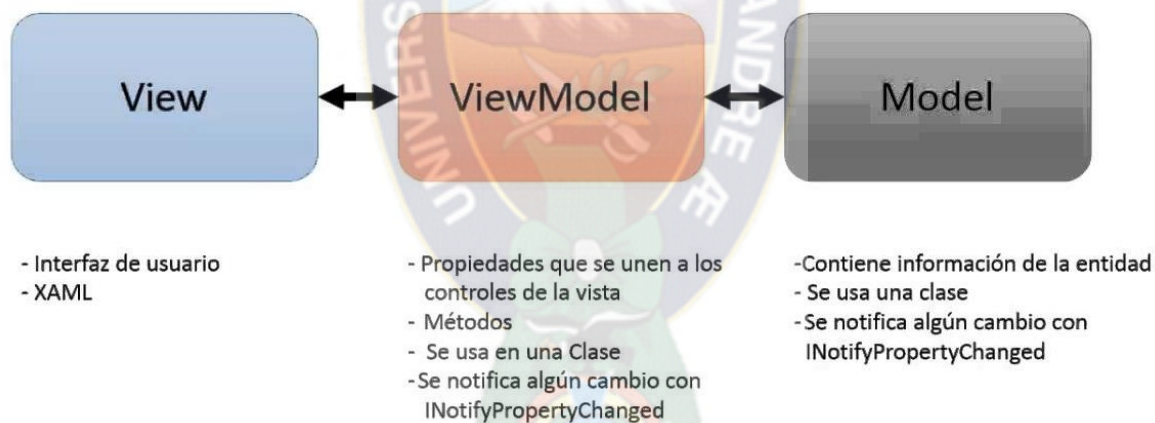


Figura 20 Diagrama del patrón de Arquitectura de Software MVVM
Fuente: (MSDN, 2013)

²⁰ Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas.

CAPÍTULO 3 . DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

Para poder realizar el prototipo del sistema basado en machine learning es necesario obtener los puntos de interés, que para este caso en específico son detectar las articulaciones que pertenecen a la rodilla, para esto se requiere de un dispositivo que pueda proveer mediciones exactas y que sea de fácil acceso, pudiendo ser adquiridos en el mercado local; por este motivo el sensor Kinect se considera como la opción adecuada para este proyecto de tesis.

El dispositivo utilizado tiene la capacidad de reconocer el cuerpo humano de manera que se puede identificar claramente las articulaciones de una persona en base lo antes mencionado, se realizara la obtención de los datos del miembro inferior que este lesionado para poder analizar la rodilla del paciente y verificar si existe recuperación mediante la aplicación de algoritmos de machine learning para dicho objetivo en distintas sesiones de terapia física, en la figura 3.1 se puede ver el esquema del sistema.

Para ello se pondrán en práctica distintos métodos, técnicas y herramientas que se seleccionaron para el presente trabajo de investigación. Así mismo el presente capítulo se utilizara algoritmos de aprendizaje automático como el algoritmo k-means para la implementación del Machine Learning de acuerdo a las fases de la “Metodología Prometheus” y el uso del patrón de diseño de aplicaciones MVVM (Model View View-Model) para el desacoplamiento del código de la interfaz de usuario utilizando su base teórica para su desarrollo con el objetivo de coadyuvar a la determinación del estado de recuperación de los pacientes con lesiones de rodilla que requieren de fisioterapia.

3.2 Esquema del sistema

A continuación, se describen los componentes del sistema como se muestra como esquema en la figura 20 y que se describe.

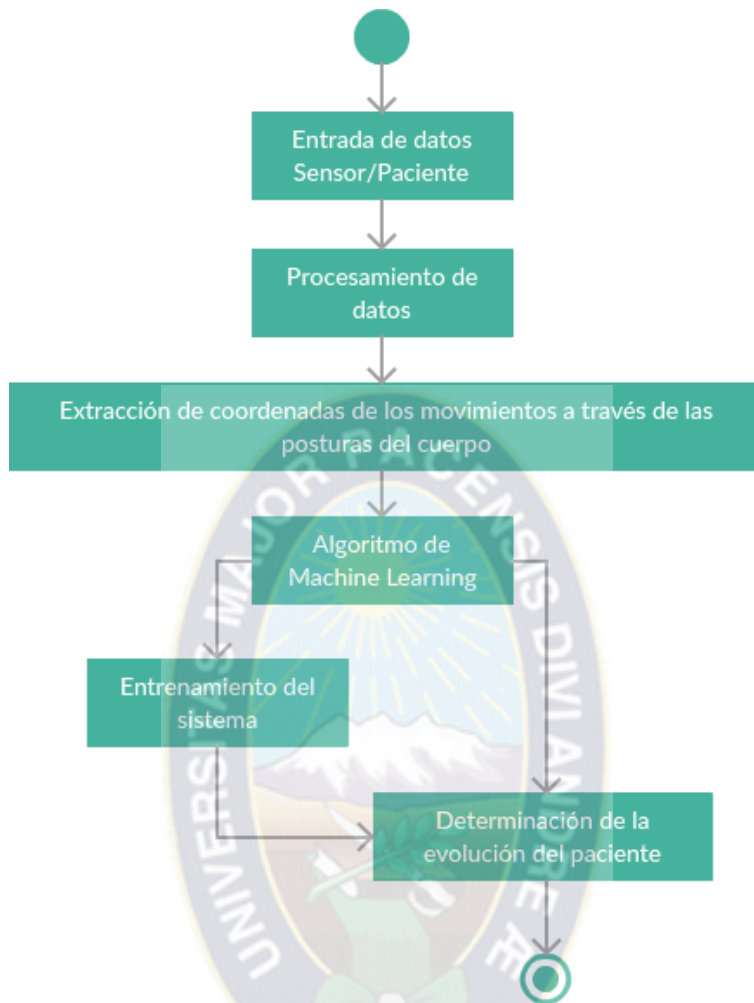


Figura 21 Esquema del sistema
Fuente: (MSDN, 2013)

3.2.1 Entrada de datos entre el sensor Kinect y el paciente

El sensor Kinect recupera los datos de la persona que se encuentra dentro de su campo de visión, para esto utiliza una cámara RGB, sensores de profundidad, sensores infrarrojos y unos micrófonos, ver figura 21.



Figura 22 Sensor de profundidad
Fuente: (MSDN, 2013)

A partir de los sensores con los que cuenta Kinect se obtiene los datos de interés ubicados en la rodilla. Para que estas actúen como datos de entrada para posteriormente ser seleccionados y usados por el algoritmo de machine learning.

3.2.1.1 Explorando los datos

Las características relevantes para poder realizar el diagnóstico son los siguientes: edad del paciente, ángulo de flexión de la rodilla, tiempo que realiza el tratamiento, tiempo por sesión, correcta realización del ejercicio asignado, cantidad de ejercicios a realizar por sesión y la coordenada de las rodillas, el mismo se puede apreciar en la figura 3.3 que muestra como el sensor captura al esqueleto humano especialmente a las articulaciones.

Estas características mencionadas antes se toman en cuenta como parte del flujo tradicional donde se tiene una entrada que en este caso son las variables ya descritas anteriormente, luego sigue el procesamiento de los datos que se realizara mediante el algoritmo de machine learning y finalmente la salida que en este caso es el diagnóstico de los datos procesados; como se ve a continuación en la figura 22 se tiene al sensor detectando el esqueleto.

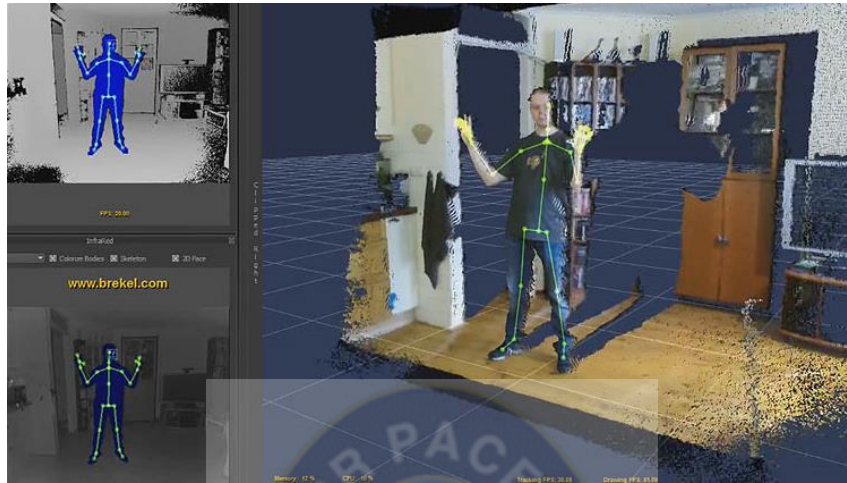


Figura 23 Detección del esqueleto.
Fuente: (MSDN, 2013)

3.2.2 Procesamiento de datos

Para poder realizar el proceso de los datos obtenidos, esto involucra diversas funciones, entre ellas tenemos:

- Validación, asegurar que los datos suministrados son limpio, correcto y útil.
- Clasificación, ordena elementos de cierta secuencia y/o en diferentes conjuntos.
- Recapitulación, reducir los detalles de los datos a sus principales puntos.
- Agregación, combinación de múltiples piezas de datos.
- Análisis, la colección, organización, análisis, interpretación y presentación de datos.

Con las cuales podremos tener un conjunto de datos confiable para realizar el análisis de los datos con los algoritmos de machine learning.

3.2.3 Extracción de los movimientos y posturas

Se trata de procesar las imágenes, específicamente analizando la colección de píxeles de cada cuadro que capta el sensor. Dependiendo del tipo de imagen, los colores de un píxel y la según la variación donde 0 es negro y 255 es blanco se puede conocer la postura del cuerpo humano, así como se muestra en la figura 23.

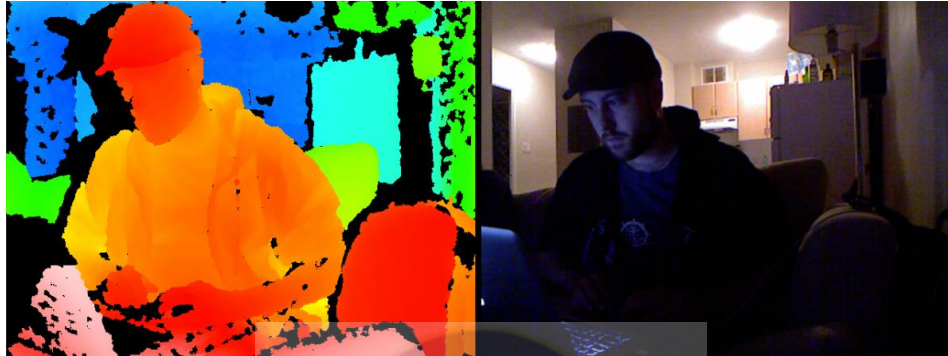


Figura 24 Sensor Infrarrojo
Fuente: (MSDN, 2013)

Algoritmo de machine learning, para esta parte del flujo se envían los datos recolectados de las coordenadas pertenecientes a la rodilla y es procesado por el algoritmo de machine learning. Para tal efecto se realiza el entrenamiento del algoritmo con distintos casos que se puedan dar y finalmente el algoritmo determina el grado de evolución o recuperación del paciente en un tiempo determinado. La metodología Prometheus define un proceso detallado para especificar, diseñar, implementar y probar sistemas software. Propone un proceso de desarrollo iterativo que consta de tres fases: especificación del sistema, diseño arquitectónico y diseño detallado.

A continuación, se describen las fases de la metodología. A continuación, se inicia con las fases de la Metodología Prometheus.

3.3 Fases de la metodología Prometheus

Las fases de la metodología son: Especificación del sistema diseño de la arquitectura y el diseño detallado. A continuación, se desarrollan a detalle cada una de las fases de esta metodología aplicadas al presente trabajo.

3.3.1 Especificación del sistema

En esta primera parte para la fase de la construcción del sistema inteligente basado en Machine Learning se iniciará por identificar los actores del sistema y su respectiva

interacción con el sistema. Así mismo el desarrollo de escenarios que ilustren la operación del sistema identificando las metas y sub-metas conjuntamente con la identificación con los datos externos

3.3.2 Especificación de objetivos

A continuación, se señalan los objetivos iniciales identificados al examinar la secuencia de acciones interpretados en un diagrama de objetivos. Los actores que interactúan con el Sistema Inteligente basado en Machine Learning son los siguientes:

3.3.2.1 Especialista en terapia física

Tiene el rol importante que requiere de actividades que son basados en conocimiento para así realizar una acción siendo el sistema inteligente basado en Machine Learning un apoyo para el fisioterapeuta proporcionándole funciones de generar registros y cálculos de la evolución del paciente que tiene problemas o afecciones en la rodilla que requieran de terapia física.

3.3.2.2 Aplicación

Requiere una interfaz gráfica, sencillo y fácil de manejar permitiéndole tener accesibilidad a la información obtenida, para así determinar el grado de evolución de recuperación de un paciente con afecciones de rodilla.

3.3.2.3 Machine Learning

El cual interactuara con los datos obtenidos por el sensor Kinect y se encargara del análisis de los datos, utilizando algoritmos de Machine Learning.

3.3.3 Funcionalidades

Son roles que se identificaron en el sistema agrupando los objetivos similares, acciones y percepciones asignados dentro de roles. Reuniendo los objetivos en forma coherente para obtener sus funcionalidades, convirtiendo los objetivos en funcionalidades y los sub-

objetivos en metas. Se usa descriptores para cada funcionalidad del sistema representando en forma textual una descripción de la funcionalidad, así como las meta que percibe cada funcionalidad, ver tabla 4.

DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES		
ROL	FUNCIONALIDAD	OBJETIVO
Identificar Paciente	Esta funcionalidad se encarga de registrar al paciente, una vez registrado los datos del paciente se puede realizar una evaluación preliminar.	Obtener datos del paciente y realizar el diagnostico.
Efectuar diagnostico	Funcionalidad que permite efectuar el diagnostico preliminar del paciente.	Identifica estado de la rodilla en base a ejercicios.
Evaluación Diagnostico.	Esta funcionalidad es un proceso de valoración basado en Machine Learning y juntamente a la ayuda del sensor Kinect para la obtención de los datos.	Utilizar algoritmos de Machine Learning para la determinación de la evolución de los pacientes con lesiones de rodilla.
Administración Pacientes	Tiene la funcionalidad de mantener actualizado la evolución de un determinado paciente, si un usuario es nuevo creo su correspondiente historial para tal caso se mostrará la pantalla de historia de la evolución del paciente.	Registra el historial del paciente.

Tabla 4 Descripción de los roles.

Fuente: (Elaboración propia)

3.3.4 Identificación de escenarios

En la especificación de sistemas la tercera actividad es la determinación de escenarios son pasos detallados que ilustran las operaciones del sistema basado en Machine Learning para realizar el diagnostico, a continuación, se muestran los detalles de la descripción de los distintos escenarios, ver tabla 5.

DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS			
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	PRIORIDAD	PASOS PREVIOS
Acceso al sistema	Este escenario describe la identificación o reconocimiento de un usuario al sistema o en caso de no estar	Esencial	Ninguno.

	identificado registrarse agregando la información básica.		
Asignación de ejercicios	En el escenario se visualiza una serie de ejercicios que el paciente debe realizar.	Esencial	Acceso al sistema.
Evaluación de la evolución del paciente	Para la evaluación el escenario mostrara la opción de un informe.	Esencial	Asignación de ejercicios. Iniciar análisis de los datos para determinar la evolución.

Tabla 5 Descripción de escenarios del sistema.

Fuente: (Elaboración propia)

Los descriptores de cada escenario se encargan de especificar de forma textual cada uno de ellos con relación a su funcionalidad y los datos que se manejan, ver tabla 6.

Escenario: Acceso al sistema.

Descripción: Este escenario describe el acceso al sistema tiene el objetivo de registrar al paciente nuevo mediante una interfaz sencilla y utilizando la voz.

NO.	TIPO DE PROCESO	PROCESO	FUNCIONALIDAD	DATOS USADOS Y PRODUCIDOS
1	Acción	Reconocer al paciente	Actividad del paciente	Ninguno
2	Objetivo	Registro de paciente	Actividad del paciente	Ninguno
3	Objetivo	Actualizar datos de usuario	Actividad del paciente	Base de datos de paciente
4	Meta	Realizar la identificación del paciente	Actividad del paciente	Base de datos de paciente

Tabla 6 Descripción de acceso al sistema.

Fuente: (Elaboración propia)

Escenario: Descripción de asignación de ejercicios.

Descripción: El siguiente escenario tiene por objetivo que el sistema proporcione una serie de ejercicios que el paciente debe realizar, de esta manera se tiene como punto principal el realizar la obtención de los datos obtenidos de cada ejercicio para su posterior análisis, ver tabla 7.

NO.	TIPO DE PROCESO	PROCESO	FUNCIONALIDAD	DATOS USADOS Y PRODUCIDOS
1	Acción	Ingreso de usuario	Actividad de consulta	Base de datos de paciente.
2	Objetivo	Asignación de ejercicios.	Actividad de consulta.	Ninguno
3	Acción	Evaluar en base una serie de ejercicios proporcionados por el sistema al paciente.	Actividad del paciente.	Obtención de los datos de los ejercicios.
4	Objetivo	Registro de datos de la evaluación de ejercicios.	Ejecutar la evaluación.	Informe de ejercicios de paciente.

Tabla 7 Descripción de asignación de ejercicios y análisis de datos obtenidos.

Fuente: (Elaboración propia)

Escenario: Determinar la evolución del paciente, ver tabla 8.

Descripción: Se determina la evolución de recuperación del paciente.

NO.	TIPO DE PROCESO	PROCESO	FUNCIONALIDAD	DATOS USADOS Y PRODUCIDOS
1	Acción	Registro de datos recolectados desde el sensor Kinect.	Actividad del paciente.	Datos de paciente.
2	Objetivo	Identificación de grado de recuperación.	Actividad del paciente.	Datos de paciente.
3	Acción	Mostrar pantalla con información de progreso	Actividad del paciente.	Datos de paciente.

4	Acción	Mostrar grado de evolución de recuperación.	Actividad del paciente.	Datos de paciente.
5	Objetivo	Aplicación de algoritmo de Machine Learning.	Determinación de la evolución del paciente.	Estado de evolución del paciente
6	Acción	Información de la evaluación	Determinación de la evolución del paciente.	Estado de evolución del paciente

Tabla 8 Descripción de asignación de ejercicios y análisis de datos obtenidos.

Fuente: (Elaboración propia)

3.3.5 Diseño arquitectónico

Para este apartado que sigue la Metodología Prometheus, en cuanto al diseño de la arquitectura: se debe determinar los tipos de agentes a utilizar así mismo desarrollar los protocolos de interacción y el correspondiente diagrama de sistema. Definiremos los detalles internos de los agentes y especificar como realizan sus tareas. Siendo que cada agente es refinado en términos de sus: capacidades, eventos internos, planes y estructura de datos.

Así mismo debe se debe realizar un diagrama general de capacidad el cual captura la estructura de los planes para la capacidad y los eventos asociados con estos planes.

3.3.5.1 Diagrama de acoplamiento de datos

En el diagrama se mostrará las funcionalidades que estén relacionados con el uso de datos, los cuales los cuales son obtenidos por parte del sensor Kinect para su posterior análisis de las coordenadas. A continuación, en la figura 24 se detalla los siguientes pasos para poder realizar la obtención de datos:

Primero de verifica la existencia del paciente dentro de la base de datos. Posteriormente se inicia la toma de datos en base a ejercicios propuestos por el Sistema mediante; como siguiente paso se procede a almacenar los datos en la base de datos para que el algoritmo de machine learning pueda analizar los datos almacenados y así pueda aprender de los mismos

datos así identificar cuáles son los ejercicios que ayudan de mejor manera a la recuperación del paciente que tiene lesiones en la rodilla. Finalmente se determinan el grado de evolución de la recuperación en base a algoritmos de Machine Learning.

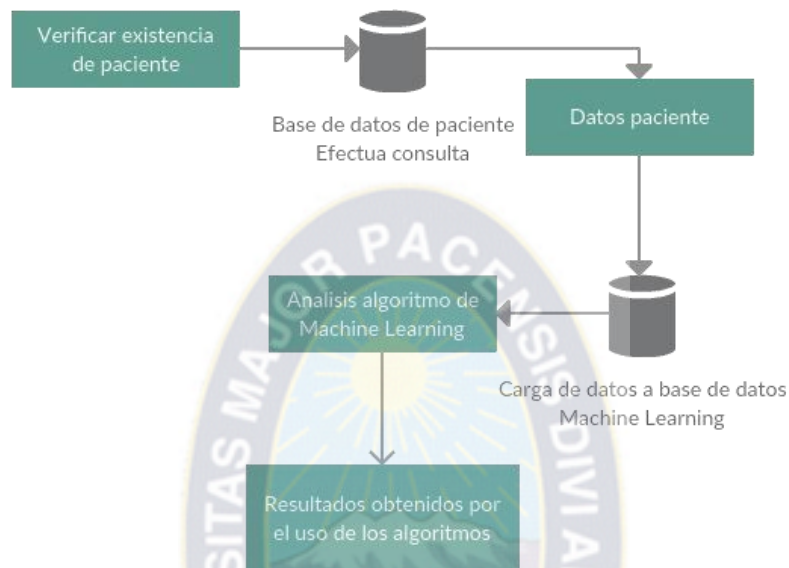


Figura 25 Diagrama de acoplamiento de datos.
Fuente: (Elaboración Propia)

3.3.5.2 Diagrama de interacción

El diagrama representa de forma gráfica la interacción entre el usuario y el agente inteligente basado en Machine Learning determinando las entradas de datos proporcionadas por el sensor Kinect, a continuación, se va a graficar la interacción entre el paciente y el agente basado en Machine Learning; en la figura 25 se puede observar dicha interacción que existe entre el paciente y el sistema.

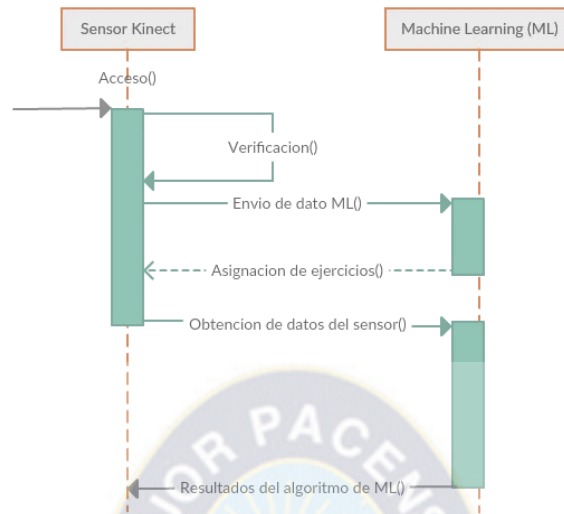


Figura 26 Diagrama de interacción.
Fuente: (Elaboración Propia)

3.3.5.3 Diagrama general del sistema

En el diagrama que se ve en la figura 26 muestra la visión total del sistema inteligente que se basa en Machine Learning para poder realizar el aprendizaje y siendo la actividad más importante en la fase de diseño ya que ayuda al entendimiento de la estructura del sistema y así mismo al organizar las siguientes fases dentro del desarrollo del sistema. En esta estructura se puede apreciar lo siguiente: el uso del sensor Kinect, así como el algoritmo de machine learning que se utilizara, los datos obtenidos por el paciente, así mismo para tener a la mano los datos de cada paciente y otras más.

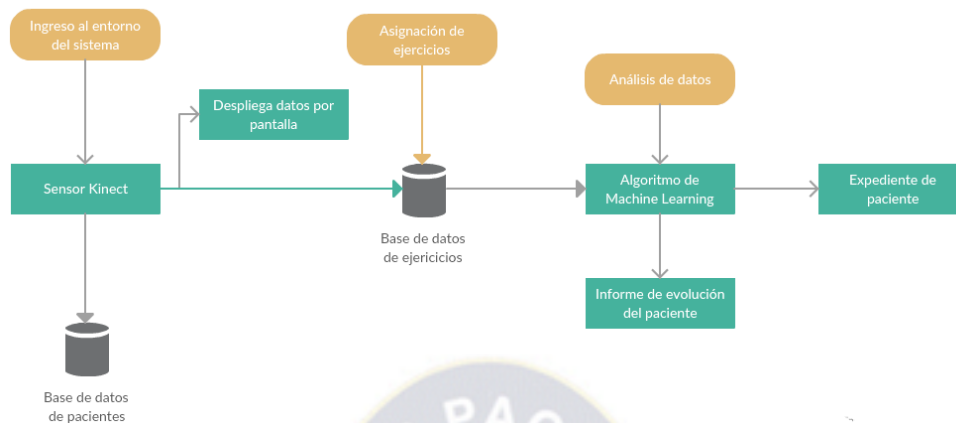


Figura 27 Diagrama general del sistema.
Fuente: (Elaboración Propia)

3.3.6 Diseño detallado

En la fase final de la metodología de Prometheus muestra la parte interna de los agentes que participan en el sistema, se realiza la descripción de los agentes identificados en el sistema inteligente con sus percepciones y acciones respectivas.

3.3.6.1 Descripción de los agentes basados en algoritmos de Machine Learning

A continuación, en la figura 27 y 28 se describen los agentes que se utilizarán para poder desarrollar el presente proyecto.

Agente receptor, es el agente de interfaz, el cual tiene la capacidad de verificar al paciente y registrar información del mismo.

Agente diagnóstico-medico, es capaz de registrar datos de los puntos de interés en las articulaciones analizadas y a partir de ello generar conocimiento para el algoritmo de machine learning.

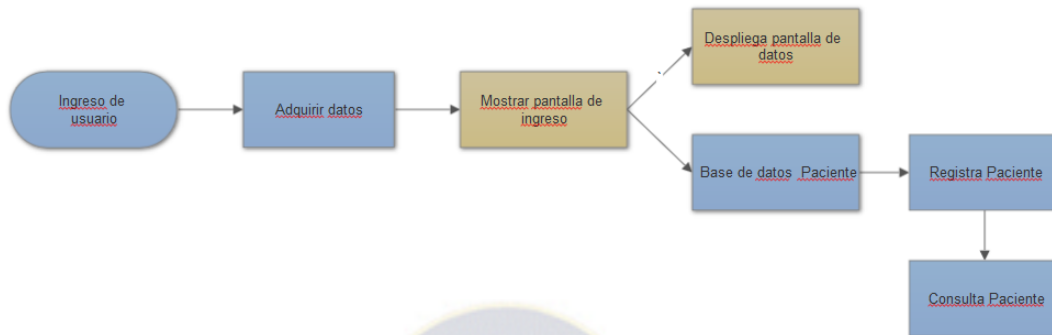


Figura 28 Diagrama del agente receptor.
Fuente: (Elaboración Propia)

A continuación, en la figura 29 se observa el diagrama que modela al agente médico que determina el flujo que seguirá este agente.

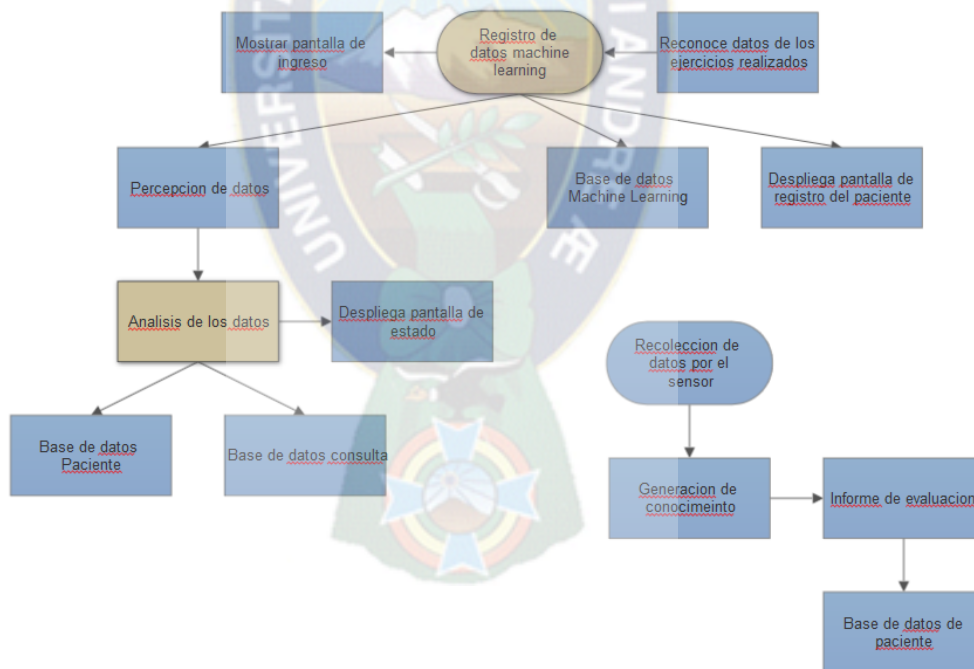


Figura 29 Diagrama del agente de diagnóstico médico.
Fuente: (Elaboración Propia)

3.3.6.2 Descriptores de capacidad

El descriptor permitirá establecer a detalle de las capacidades internas del agente, se tomará en cuenta los de más importancia, ver tabla 9.

Nombre: Adquirir datos
Interfaces externas para la capacidad: se muestra un interfaz para la interacción con el usuario.
Descripción en lenguaje natural: el agente espera para que se ingrese los datos.
Interacción con otras capacidades: se preparan la información obtenida para su estudio y almacenamiento.
Datos usados o generados: se produce los datos básicos del paciente
Inclusión de otras capacidades: se registran los datos obtenidos.
Registrar sesión de ejercicios
Interfaces externas para la capacidad: el sistema muestra resultados obtenidos a partir de un proceso del aprendizaje automático o machine learning.
Descripción en lenguaje natural: el agente luego percibir, interpretar y analizar realizara procesos para obtener el objetivo del sistema inteligente.
Interacción con otras capacidades: se analiza las variables de entrada y la interpretación del conocimiento.
Datos usados/generados por la capacidad: se usan los datos del paciente, como respuesta al ambiente se despliega resultados sobre los ejercicios que el profesional en fisioterapia le asigna.

Tabla 9 Descriptores de capacidad.
Fuente: Elaboración propia

3.3.6.3 Acciones del agente basado en Machine Learning

Realiza operaciones de acuerdo a sus capacidades a través de los parámetros percibidos. El objetivo del agente basado machine learning es brindar respuestas, llevando a cabo una planificación para su ejecución. Presentando los siguientes atributos:

- Autonomía: tiene autonomía debido a que realiza procesos de razonamiento y aprendizaje independientemente del especialista en terapia física.

- Inteligencia: percibe e identifica los eventos que suceden a su alrededor llegando a proporcionar conocimiento para el paciente.
- Reactividad: dentro de su entorno reacciona de acuerdo a las necesidades del usuario de manera que percibe consultas y reacciona con una respuesta enfocada a su objetivo.
- Pro-actividad: lleva a cabo acciones para conseguir sus metas.

3.3.6.4 Descripción del conocimiento

La base de conocimiento contiene conocimiento especializado sobre el dominio en el que se trabaja, el mismo tendrá una relación con el agente, dándole la posibilidad de adquirir conocimiento para poder planificar decisiones y luego ejecutarlas, tal acción utilizará técnicas de aprendizaje automático de manera que la incertidumbre presentada por medio del aprendizaje automático.

En la figura 29 se muestra la visualización general del comportamiento de cada componente y la interacción que realizan.

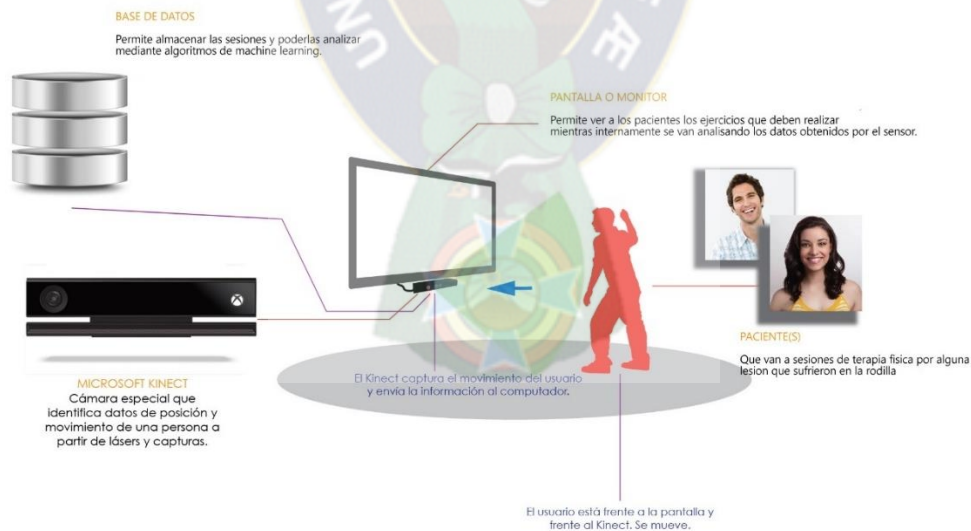


Figura 30 Esquema del sistema.
Fuente: Elaboración propia

La base de conocimiento dispone de un conocimiento concreto, el cual estará constituido en los resultados del método indicado anteriormente en el capítulo dos indicando así: El nivel de recuperación del paciente con lesión en la rodilla.

3.3.7 Variables de la base de conocimiento

Después de realizar un estudio sobre el dominio en el caso de la investigación, se realizó un análisis sobre el campo del aprendizaje automático y el tratamiento que los profesionales en terapia física aportan al momento de tomar una decisión, cuyo objetivo será ayudar a realizar la determinación del estado de recuperación de un paciente con lesión en la rodilla que se encuentra realizando sesiones de terapia física.

A continuación, en la tabla 10 se muestra el test activo y pasivo de cada una de las articulaciones mostrando distintas características, como flexión, extensión, aducción, abducción, rotación interna y rotación externa.

TEST ARTICULAR ACTIVO Y PASIVO		
ANATÓMICA ARTICULACIÓN	MOVILIDAD	GRADOS ARTICULACIÓN
Hombro	Flexión	180°
	Extensión	45°
	Aducción	40°
	Abducción	180°
	Rotación Interna	90°
	Rotación Externa	90°
Codo	Flexión	145°
Antebrazo	Pronación	80°
	Supinación	80°
Muñeca	Flexión	80°
	Extensión	70°
	Aducción	45°
	Abducción	20°

Cadera	Flexión	125°
	Extensión	10°
	Aducción	30°
	Abducción	45°
	Rotación Interna	45°
	Rotación Externa	45°
Rodilla	Flexión	140°
Tobillo	Flexión	45°
	Extensión	20°
	Inversión	40°
	Eversión	20°

Tabla 10 Identificación de variables.
Fuente Elaboración propia

Así mismo se realiza la prueba de Barthel que mide la capacidad de una persona para realizar 10 actividades de la vida diaria, que se consideran básicas, de esta forma se obtiene una estimación cuantitativa en su grado de independencia, también se conoce como índice de discapacidad de Maryland, la misma se muestra en la sección de anexos.

Una vez descritas las entradas al sistema y los procesos de las variables que se manejarán se procederá a aplicar algoritmos de aprendizaje automático para determinar el nivel de recuperación del paciente. El agente basado en machine learning se encarga del manejo de los parámetros de entrada, de tal forma que se pueda ser relacionado con la base de conocimiento.

3.3.7.1 Representación de los datos usando algoritmos de Machine Learning

Luego de la especificación de las variables se procede a identificar las variables que requieren un análisis especial debido a su grado de incertidumbre, con ayuda de algoritmos de

aprendizaje automático se puede plasmar como trabajan las variables siendo representados en conjuntos.

Dependiendo de la naturaleza de los datos existe una formulación para los casos linealmente separables y por otro lado una formulación para casos no linealmente separables.

En el primer caso de ser linealmente separable los datos de entrada se separan en dos grupos que poseen una etiqueta propia. En medio de todos los posibles planos de separación de las dos clases etiquetadas como $\{-1,+1\}$, existe solo un hiperplano de separación óptimo, de forma que la distancia entre el hiperplano óptimo y el valor de entrada más cercano sea máxima (maximización del margen) ver figura 30; con la intención de forzar la generalización del algoritmo de aprendizaje automático.

Función de decisión para el algoritmo de machine learning:

$$(w * x^{+1} + b) = +1$$

$$(w * x^{-1} + b) = -1$$

Resolviendo las ecuaciones

$$b = -\frac{1}{2}(w * x^{+1} + w * x^{-1})$$

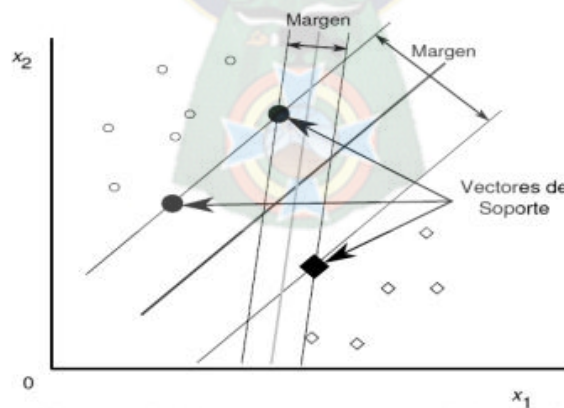


Figura 31 Cálculo de vectores soporte y maximización del margen.
Fuente: (Ledezma, 2012)

En el segundo caso, se encuentran linealmente no separables o no lineales existen dos casos que vale la pena mencionar:

El primero de estos se presenta cuando los datos pueden ser separables con margen máximo, pero en un espacio de características (el cual es de una mayor dimensionalidad y se obtiene a través de una transformación a las variables del espacio de entrada) mediante el uso de una función Kernel como se expresa en la siguiente función ver la figura 31.

Función de Kernel

$$K(x_i, x_j) = \phi^T(x_i)\phi(x_j)$$

Aplicando la función Kernel

$$F = (\alpha) \sum_{i=1}^M \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j)$$

$$K(x, x') = \langle \phi(x), \phi(x') \rangle$$

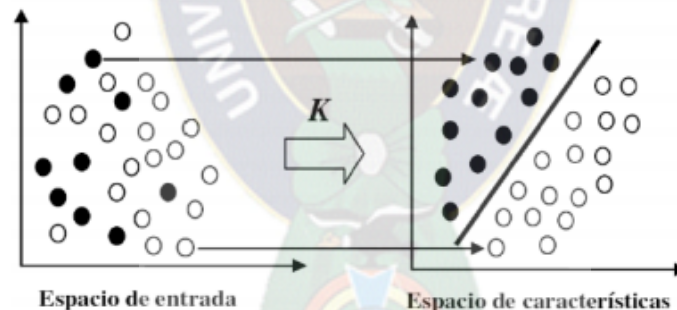


Figura 32 Transformación del espacio de entrada a un espacio.
Fuente: (Ledezma, 2012)

Los tipos de Kernel más usados para estos casos son los siguientes:

Lineales: $K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$

Polinomiales: $K(x_i, x_j) = (x_i^T x_j + 1)^d$

Ahora bien, para realizar el proceso de aprendizaje se utiliza algoritmos de machine learning y cada valor que entra al sistema se representa como base de conocimiento para la posterior determinación de la evolución de recuperación del paciente con lesión de rodilla.

3.4 Modelado del sistema

3.4.1 Descripción del prototipo

Se muestra el prototipo del sistema inteligente basado en machine learning para determinar en pacientes con lesión de rodilla y que realiza tratamiento de terapia física con una interfaz de usuario el cual permite la interacción del paciente para realizar los ejercicios, de tal forma que obtienen la información necesaria mediante la obtención el sensor Kinect para luego determinar un grado de recuperación. La figura 32 muestra el inicio de sesión. Si es la primera vez que se ingresa se procede a registrar los datos necesarios, este proceso realiza un control más personalizado sobre el paciente.

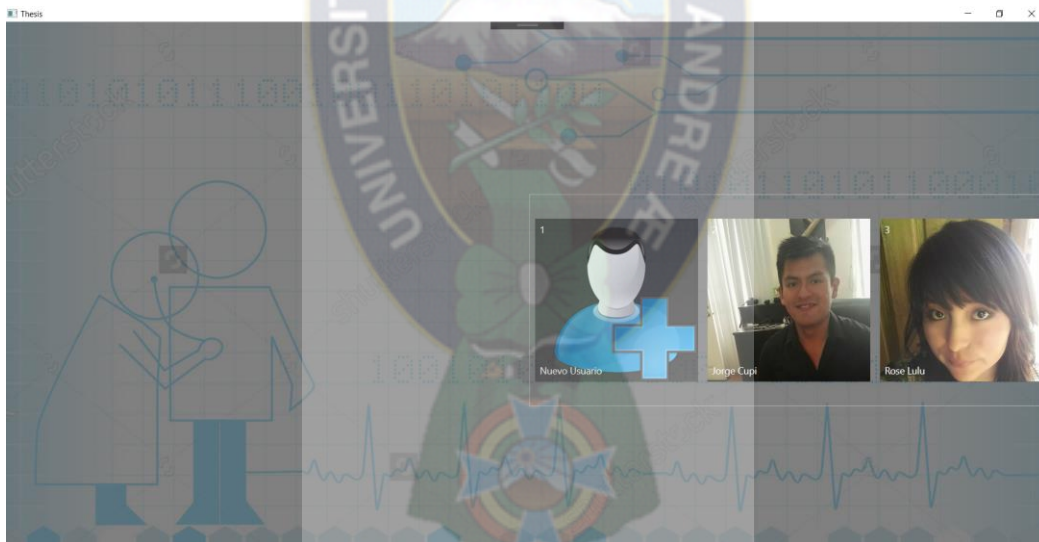


Figura 33 Pantalla de inicio del sistema.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se muestra el menú principal del sistema que para poder ingresar al mismo se debe registrar al paciente.

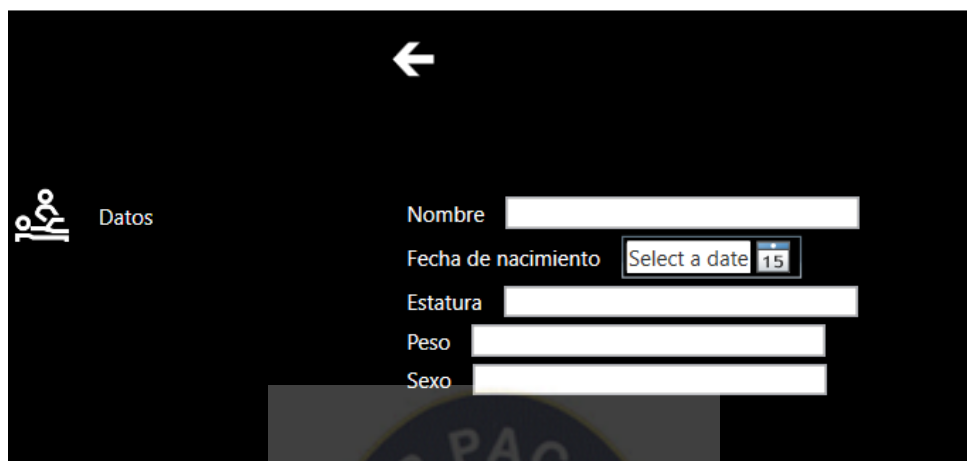


Figura 34 Pantalla de registro al sistema.

Fuente: Elaboración propia

Si el paciente ya ha sido registrado con anterioridad se muestra la siguiente pantalla donde el medico en fisioterapia guía al paciente, con los ejercicios que se deben de realizar como se muestra en la figura 34.

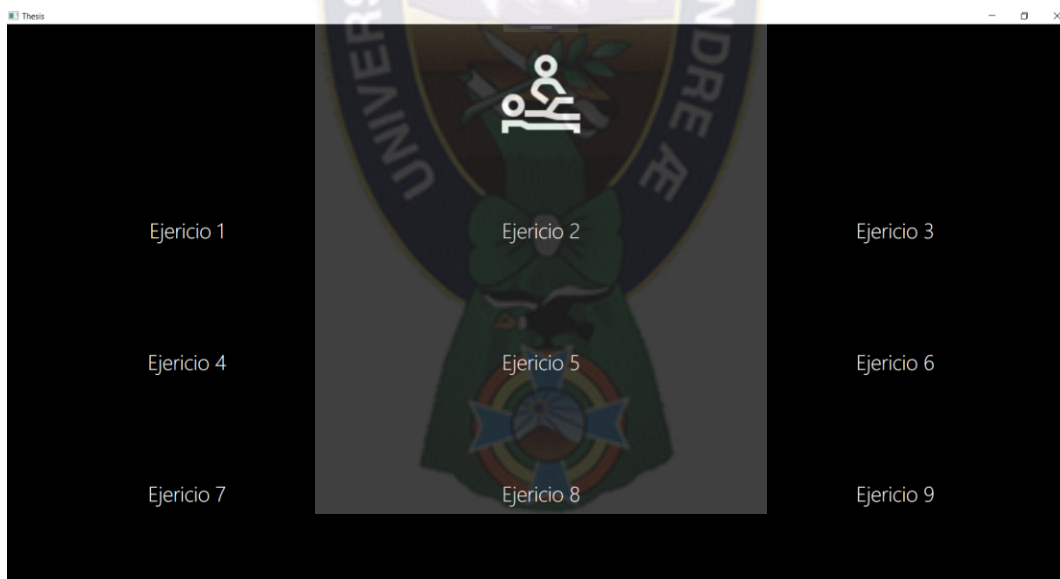


Figura 35 Pantalla de selección de ejercicio del sistema.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura 35 y 36 se muestra al sensor obteniendo los datos del paciente, y se puede apreciar claramente como cada articulación tiene asociada un color y se identifica cual es el ángulo en el cual está extendida.

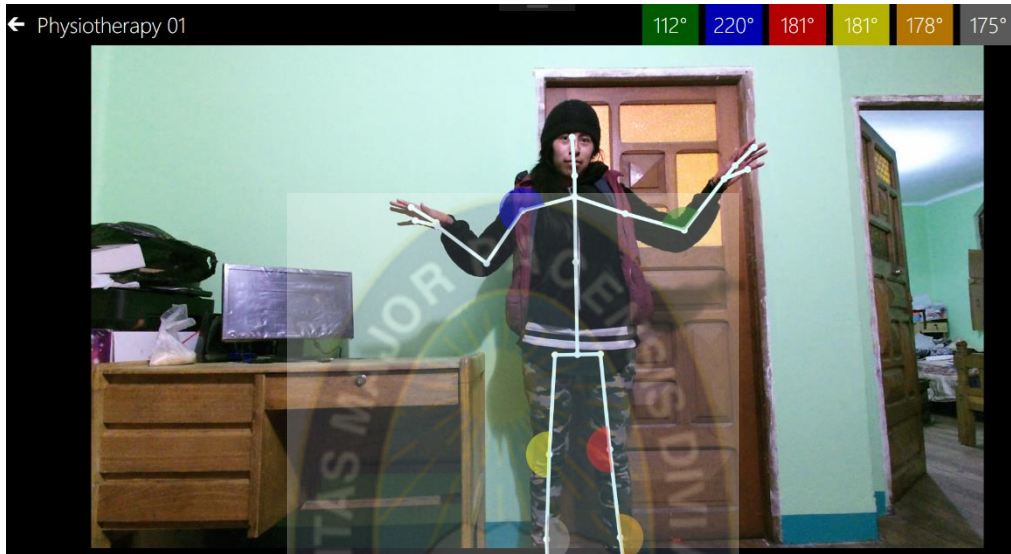


Figura 36 Captura de articulaciones por el sistema.
Fuente: Elaboración propia



Figura 37 Captura de articulaciones por el sistema.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4 . EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Prueba de hipótesis

En el presente capítulo se realiza la evaluación de la hipótesis planteada en la investigación, la cual indica:

El uso de algoritmos de Machine Learning y la capacidad del sensor Kinect de capturar el esqueleto humano en 3D, permite que el sistema inteligente determine la evolución y la recuperación del paciente con lesión en la rodilla, a un nivel de confiabilidad del 90%.

Por lo cual se identificó las siguientes variables que serán evaluadas en este apartado:

Variable dependiente: Determinar la evolución de recuperación con una confiabilidad del 90%.

Variable independiente: Sistema Inteligente.

Variable interviniente: Algoritmos de Machine Learning.

4.2 Contraste de rachas de Wald-Wolfowitz

Se considera una población de persona(s) asociada a una variable aleatoria x , la cual solo puede ser representado por dos posibles valores, como ser éxito (A) y fracaso (B).

Sea H_0 y H_1 considerados de la siguiente forma:

- H_0 : El SI basado en Machine Learning no permite determinar la evolución y recuperación del paciente con lesión en la rodilla, a un nivel de confiabilidad del 90%.
- H_1 : El SI basado en Machine Learning permite determinar la evolución y recuperación del paciente con lesión en la rodilla, a un nivel de confiabilidad del 90%.

Donde una muestra de tamaño n esta compuesta por n_1 elementos de tipo A y n_2 elementos de tipo B, siendo la muestra total $n = n_1 + n_2$.

Sea la variable aleatoria R : Número total de rachas observadas en la muestra.

Para una muestra grande y considerando H_0 es decir, se tiene una muestra aleatoria cuya distribución de probabilidad de R tiende hacia la normal a medida que por n_1 y n_2 se van haciendo grandes cada vez más grandes.

Dicha aproximación es bastante buena si por $n_1 > 10$ y $n_2 > 10$ de forma que se evalúan las siguientes formulas estadísticas:

$$R \rightarrow N(E[R], \sqrt{Var[R]})$$

$$\text{Esperanza } E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

$$\text{Varianza } Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}$$

Para muestras grandes se verifica lo siguiente:

$$Z = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}}$$

De forma similar para una muestra correcta el valor del estadístico Z será:

$$Z_{exp} = \frac{R - \left(\frac{2n_1n_2}{n} + 1\right)}{\sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n)}{n^2(n - 1)}}} + 1$$

El siguiente intervalo muestra la región de aceptación para la hipótesis:

$$-Z_{\alpha/2} < Z_{exp} < Z_{\alpha/2}$$

El valor de $Z_{\alpha/2}$ se obtiene de la tabla de la Normal $N < 0,1 >$ de manera que:

$$P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \alpha/2$$

4.3 Análisis de la prueba de hipótesis

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis por medio de contraste de rachas de Wald-Wolfowitz se sigue los siguientes pasos:

- Paso 1: planteamiento de la hipótesis nula.

Hi: El uso de Machine Learning permite determinar la evolución del paciente con lesión de rodilla con un nivel de confiabilidad del 90%.

- Paso 2: Selección del nivel de confianza

El nivel de confianza o significación que se obtiene para 90% es $\alpha = 0.05$ elegida de la tabla de la normal.

- Paso 3: Identificación del estadístico de prueba

Se utiliza la prueba de rachas (Wald-Wolfowitz), el cual utiliza los signos de los siguientes residuos y sus variaciones de negativos y positivos o viceversa. Una racha está conformada por sucesión de signos iguales.

- Paso 4: Formulación de la regla de decisión

Se toman 14 casos de consulta para determinar el nivel de recuperación de un paciente con lesión de rodilla, como se muestra en la tabla 11, luego se realiza la comparación de resultados entre el especialista en terapia física y el sistema inteligente basado en machine learning. Por tanto, la siguiente tabla muestra los resultados de la comparación, una vez observado los resultados se analizará la aceptación por rachas.

CASO	EVALUACIÓN DEL ESPECIALISTA	EVALUACIÓN DEL SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN MACHINE LEARNING	ACEPTACIÓN POR RACHAS
1	Normal	Normal	+
2	Satisfactorio	Satisfactorio	+
3	Reducido	Reducido	+

4	Reducido	Normal	-
5	Satisfactorio	Normal	-
6	Reducido	Reducido	+
7	Normal	Normal	+
8	Satisfactorio	Satisfactorio	+
9	Satisfactorio	Satisfactorio	+
10	Normal	Reducido	-
11	Normal	Normal	+
12	Normal	Normal	+
13	Satisfactorio	Satisfactorio	+
14	Normal	Normal	+

Tabla 11 Resultados especialista y sistema inteligente.

Fuente: [elaboración propia]

Luego de realizar la comparación se obtuve los siguientes resultados

(+ + +)(- -)(+ + + +)(-)(+ + + +)

Donde:

(+) representa los casos en los que coincide el resultado entre el sistema inteligente basado en machine learning y el especialista en terapia física

(-) representa los casos en los que no llego a coincidir.

La racha está conformada por la sucesión de signos iguales de manera que se tiene lo siguiente:

Total, de rachas expuestas $R_{exp} = 5$

Número total de observaciones $N = 14$

Numero de residuos positivos $n_1 = 11$

Numero de residuos negativos $n_2 = 3$

Después de haber obtenido los anteriores valores se calcula la esperanza y la varianza.

$$E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1 = \frac{2(11)(3)}{11 + 3} + 1 = \frac{66}{14} + 1 = 5.71$$

$$Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)} = \frac{2(11)(3)(52)}{(11 + 3)^2(11 + 3 - 1)} = \frac{3432}{2548} = 1.35$$

- Paso 5: toma de decisión

Para una muestra en particular se determina el valor estadístico de Z_{exp}

$$Z = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}} + 1 = \frac{5 - 5.71}{\sqrt{1.35}} + 1 = 0.39$$

Para calcular la región de aceptación de la hipótesis es necesario hallar el valor de $Z_{\alpha/2}$, el cual se halla mediante la tabla de la $N(0,1)$, el proceso es el siguiente:

$$P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$$

$$\Rightarrow 1 - P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = 0.025$$

$$\Rightarrow P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = 1 - 0.025$$

$$\Rightarrow P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = 0.975$$

$$\Rightarrow Z_{\alpha/2} = 1.96$$

$$P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2} \Rightarrow P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = 0.025$$

$$\Rightarrow Z_{\alpha/2} = 1.96$$

La región de aceptación para la hipótesis es:

$$-Z_{\alpha/2} < Z_{exp} < Z_{\alpha/2}$$

$$-1.96 < 0.39 < 1.96$$

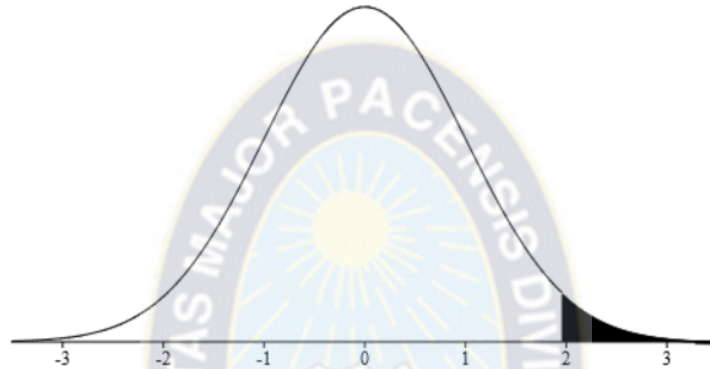


Figura 38 Grafica Normal para prueba de hipótesis

Con el valor estadístico de 0.39 se encuentra dentro del intervalo de aceptación de la hipótesis, se concluye la aceptación de la hipótesis afirmando H_1 , por tanto, se aprueba la presente investigación siendo válida, mostrando que los datos de la muestra son aleatorios.

Según el valor calculado de 1.96 se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alternativa.

CAPÍTULO 5 . CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Después de analizar, diseñar y desarrollar el sistema inteligente con las fases de la metodología Prometheus, se puede concluir que ayuda a determinar el nivel de evolución de un paciente con lesión en la rodilla. Puesto que al haber realizado el análisis de confiabilidad se pudo constatar que confiable, demostrando así la hipótesis.

- La construcción del modelo de sistema inteligente basado en machine learning para determinar la evolución del paciente con lesión de rodilla.
- Concluimos que el sistema inteligente basado en machine learning para determinar la evolución de pacientes con lesión de rodilla es un aporte significativo de la inteligencia artificial porque en su diseño tomamos criterios de la medicina, en específico en el área de la terapia física.
- Con ayuda de un de Machine Learning, se hizo posible la obtención de grados de certeza, brindando formas de representar y manejar información con incertidumbre.
- La metodología Prometheus ayudo de gran manera al modelado del Sistema Inteligente realizando la especificación del sistema, el diseño arquitectónico y el diseño detallado. La metodología hace uso de un agente, el cual actual como asistente de ayuda para el paciente con lesión de rodilla.
- La utilización de Machine Learning sirvió para describir de forma detallada el modelado del Sistema Inteligente basado en Machine Learning, permitiendo cumplir con las fases de la metodología Prometheus.
- Luego de todo lo mencionado en el trabajo de investigación, si puede concluir que el Sistema inteligente basado en Machine Learning proporciona resultados confiables 97%, debido a la combinación de la técnica y metodología usada de acuerdo a lo especificado en el capítulo 1 de este trabajo.

- El sistema inteligente y agentes inteligentes son parte de la inteligencia artificial los cuales junto al sensor Kinect y los algoritmos de machine learning pueden ayudar a determinar la evolución de pacientes con lesión de rodilla.
- Se concluye que la manipulación de las bibliotecas de Azure Machine Learning que se basa principalmente en el lenguaje de programación Python, ayuda a acelerar el proceso de desarrollo del sistema inteligente.
- Se evidencio que estadísticamente el uso de los diferentes algoritmos de machine learning puede hacer variar los resultados y que se debe usar el modelo que mejor se adapte al problema a resolver.

5.2 Recomendaciones

Debido al constante avance de la tecnología se puede encontrar mejoras para este tipo de software que utiliza algoritmos de machine learning y que se fusionan con la medicina o para este caso más específico con la fisioterapia.

- También se recomienda profundizar y actualizar la investigación sobre los algoritmos de machine learning.
- Para posteriores investigaciones se recomienda la investigación de agentes inteligentes incluso algoritmos de machine learning para la realización de un sistema inteligente.
- Utilizar una metodología adecuada para el diseño del prototipo en caso de investigaciones futuras.
- Profundizar en el uso de herramientas como Azure Machine Learning para la realización y el utilizar algoritmos de machine learning.

BIBLIOGRAFÍA

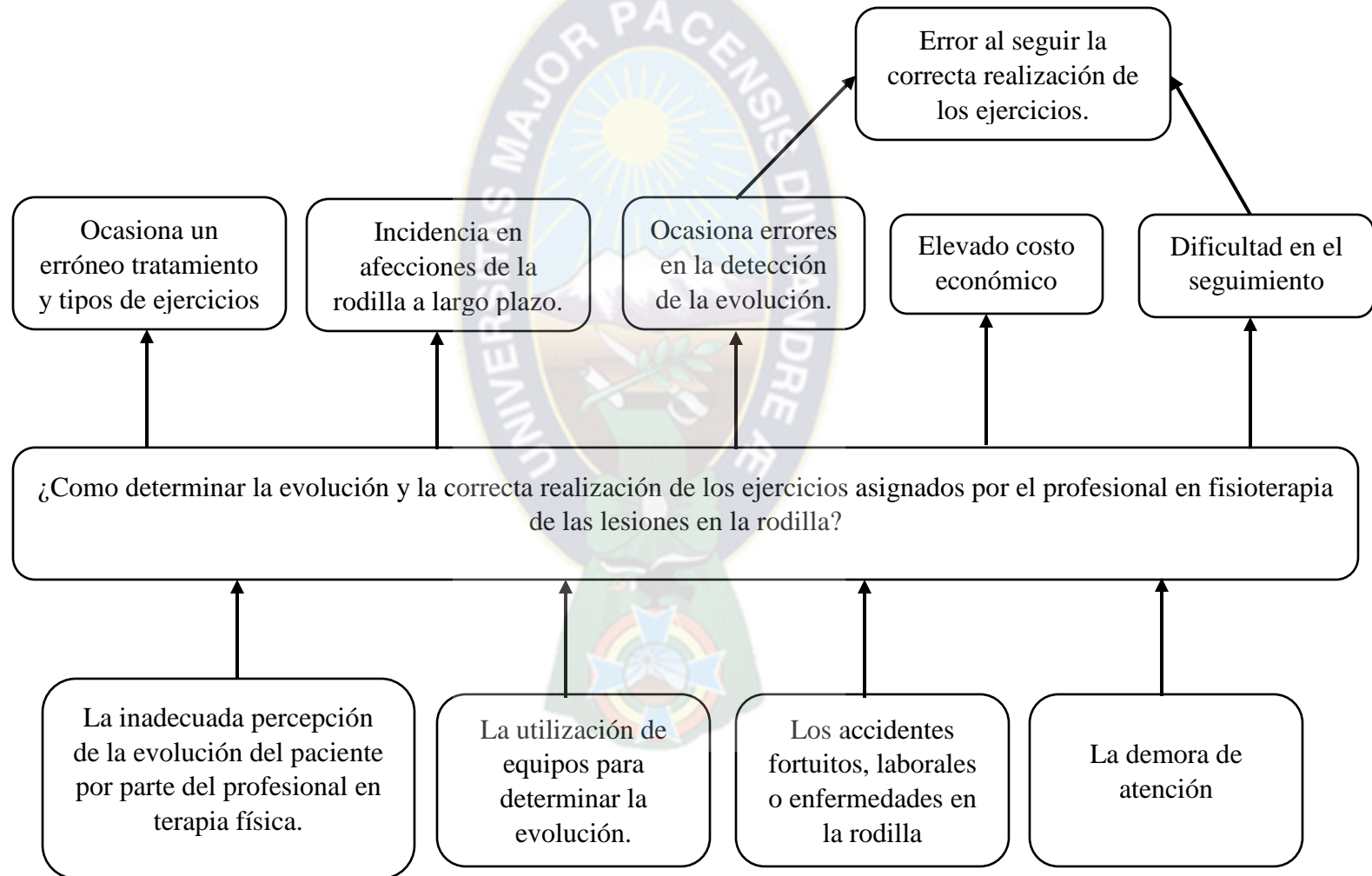
- Alay, F. E. (18 de Septiembre de 2014). *Universidad Estatal del sur de Manabi*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/intart8vosemestre/agentes-inteligentes>
- Barrajo, M. d. (2015). IPHealth: Plataforma inteligente basada en open, linked y big data para la toma de decisiones y aprendizaje en el ambito de la salud. *Procesamiento del Lenguaje Natural*.
- Benítez, R. (2014). *Inteligencia artificial avanzada*. Editorial UOC.
- Blake, J. S. (2013). Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. *Microsoft Research Cambridge & Xbox Incubation*.
- Carrascosa, C. (2004). *Sistemas de Representación y Procesamiento Automático del Conocimiento*. Obtenido de http://personales.upv.es/ccarrasc/doc/2003-2004/AI_Web/definicion.html
- Choque, A. G. (2012). *Metodologías Orientada a Agentes*. Obtenido de <http://menteerrabunda.blogspot.com/>
- Cruz, P. P. (2011). *Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería*. Mexico: Alfaomega.
- Diaz, J. (2013). *Sistemas Inteligentes*. *Centro de Inteligencia Artificial, Universidad de Oviedo*.
- DX, M. (9 de Agosto de 2011). *blogs.msdn.microsoft.com*. Obtenido de <https://blogs.msdn.microsoft.com/esmsdn/2011/08/09/reto-sdk-de-kinect-detectar-posturas-con-skeletal-tracking/>
- EcuRed. (Noviembre de 2016). *EcuRed*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Modelo_Vista_Vista_Modelo
- FEM. (2013). *Fundacion Esclerosis Multiple*. Obtenido de <http://www.fem.es/imatges/web/documents/ejerciciosdefisioterapia.pdf>
- García, A. (2012). *Inteligencia artificial : fundamentos, práctica y aplicaciones*. RC Libros.
- Gonzalez, A. (1 de Julio de 2014). *CleverData BigData Prediction*. Obtenido de <http://cleverdata.io/que-es-machine-learning-big-data/>
- Guerra, A. (2013). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de <http://www.uv.mx/aguerra/documents/2013-ia2-01.pdf>
- Hamerly, G. a. (2002). Alternatives to the k-means algorithm that find better clustering.
- Hernández, M. M. (2014). *Efecto de Xbox Kinect en la velocidad de marcha y equilibrio en pacientes amputados de miembros pélvicos con prótesis en el Centro de Rehabilitación y Educación Especial Toluca*. Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.

- Hoyos, J. V. (2014). *Desarrollo de un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor Kinect para la rehabilitación asistida con videojuegos*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- INEI. (02 de Diciembre de 2013). Nota de prensa. *EN EL PERÚ 1 MILLÓN 575 MIL PERSONAS PRESENTAN ALGUN TIPO DE DISCAPACIDAD*, pág. 4.
- Ingargiola, A. (2015). Obtenido de http://jupyter-notebook-beginner-guide.readthedocs.io/en/latest/what_is_jupyter.html
- Jimenez, M. (14 de Octubre de 2016). *Enrique Dans*. Obtenido de <https://www.enriquedans.com/2016/10/inteligencia-artificial-y-machine-learning-como-nueva-frontera.html>
- Jou, S. (Agosto de 2016). *Machine Learning: A Primer for Security*. Obtenido de <http://www.issa.org/resource/resmgr/JournalPDFs/feature0816.pdf>
- Kanaan, D. (2014). *Inteligencia artificial avanzada*. Barcelona: UOC.
- Kinect, W. (2015). Obtenido de <https://msdn.microsoft.com/library/dn782037.aspx>
- kinectfordevelopers. (2014). *kinectfordevelopers*. Obtenido de <http://www.kinectfordevelopers.com/es/2014/01/28/caracteristicas-kinect-2/>
- Krause, W. (2016). *How Advanced Analytics and Machine Learning are transforming Healthcare*. Icrunchdata News.
- Ledezma, W. (2012). Maquina de soporte vectorial. (págs. 24,25,26,27). Bogota: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingenieria.
- Leicester. (2011). Simposio Internacional sobre la Evolucion de Sistemas Inteligentes.
- Lucio, R. H. (2010). *Metodologia de la investigacion*. Mc Graw Hill.
- Meds, C. (2011). Obtenido de <http://www.meds.cl/lesiones-y-enfermedades/articulo/lesiones-de-rodilla-mas-comunes-en-futbol>
- Microsoft. (2017). *Microsoft Azure Machine Learning*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/machine-learning>
- Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. McGraw Hill.
- MSDN. (2013). *Windows Dev Center*. Obtenido de <https://msdn.microsoft.com/es-xl/library/windows/apps/jj160324.aspx>
- NIH. (Noviembre de 2014). *Instituto Nacional de Artritis y ENfermedades Musculoesqueleticas y de la Piel*. Obtenido de http://www.niams.nih.gov/Portal_en_espanol/Informacion_de_Salud/Problemas_de_rodillas/default.asp

- Norvig, P., & Russell, S. (2015). *Inteligencia Artificial*. Elsevier Brasil. Obtenido de ca
- Philips. (2015). *Comparte Innovacion*. Obtenido de <http://www.comparteinnovacion.philips.es/tendencias-en-salud/articulos/el-futuro-del-diagnostico-de-enfermedades-mentales-reflejado-en-la-tecnologia-movil>
- Pichai, S. (2015). Obtenido de <https://googleblog.blogspot.com.es/2015/11/tensorflow-smarter-machine-learning-for.html>
- Planoinformativo*. (Mayo de 2016). Obtenido de <http://planoinformativo.com/nota/id/461045/noticia/lesiones-de-rodilla-mas-comunes-en-futbol.html>
- Rodriguez, R. (2011). *Departamento de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires*. Obtenido de <https://www.dc.uba.ar/materias/aa/2011/cuat2>
- Rosa, A. M. (2014). COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE RECUPERACIÓN DE ROTURA DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR DE LA RODILLA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL Y AMATEUR.
- Solano, A. I. (Junio de 2011). *Unisimonbolivar*. Obtenido de <http://publicaciones.unisimonbolivar.edu.co/rdigital/inovacioning/index.php/identific/article/viewFile/22/30>
- Surgeons, A. A. (Diciembre de 2012). *OrthoInfo*. Obtenido de <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=A00494>
- Trancon, T. d. (Septiembre de 2010). Sistema de control inteligente de entrada/salida de humanos a un recinto siguiendo la metodología VigilAgent.
- Vahabzadeh, A. (2016). *Can Machine Learnign Decode Depressión?* Huffinton Post.
- Winikoff, M. (2012). *RMIT University*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/rmitagents/software/prometheusPDT>
- Yanez, R. (Diciembre de 2012). *Clinica Meds Medicina Deportiva*. Obtenido de www.meds.cl/lesiones-y-enfermedades/articulo/lesiones-de-rodilla-mas-comunes-en-futbol

ANEXOS

ANEXO A: ÁRBOL DE PROBLEMAS



ANEXO B: ÁRBOL DE OBJETIVOS

