

Detección de Tumor Cerebral con Redes Neuronales Artificiales

Trabajo Terminal No. 2021-A012

Alumnos: Alvarez Arciga Hector, López García Felipe de Jesús, Segura Bautista Guillermo.

Directores: Chavarría Báez Lorena, Luna Benoso Benjamín.

e-mail: redes.neuronales.tt@gmail.com

Resumen: Un problema frecuente en la ciencia médica es el tumor cerebral, esta anomalía es posible de identificar mediante una imagen por resonancia magnética, sin embargo, algunas veces suelen ser difíciles de percibir a simple vista, debido a su tamaño. Por otro lado, las Redes Neuronales Artificiales son capaces de realizar reconocimiento de imágenes y clasificación. Particularmente se utilizarán las Redes Neuronales Convolucionales para generar un prediagnóstico para que el médico pueda detectar la existencia de neoplasias. El propósito de este trabajo es apoyar el área médica particularmente a los médicos especializados o no en el área de oncología, debido a la ausencia de un sistema orientado a médicos no especializados en el área.

Palabras clave: Redes Neuronales Artificiales, Oncología, Inteligencia Artificial, Radiología, Neoplasia

1. Introducción

Un tumor, o neoplasia cerebral, es una masa anormal de tejido debida a la división deliberada de las células. Esto crea una invasión o destrucción de tejido en la zona donde se encuentra, lo que provoca que se compriman zonas, como la cabeza, en la cual el espacio del cráneo donde se almacena el cerebro es limitado, además de que los tejidos “normales” se empiezan a desplazar y esto puede causar un daño considerable en dichas áreas [1]. Los tumores pueden presentarse en diferentes lugares del cuerpo humano debido a la metástasis, que es el proceso en que las células cancerígenas viajan a través del cuerpo y crean tumores en otras partes. Existen diferentes tipos de tumores, como el benigno, que no invade tejidos distantes, es decir, que no se esparce demasiado y deja de hacerlo después de un tiempo. Este tipo de tumor no se considera cancerígeno pero aun así puede causar problemas de salud. Por otro lado, existe el tumor maligno que es el más letal; tiene la propiedad de invadir tejidos y lo esparce fuera del área local [1].

La principal enfermedad relacionada con los tumores de cualquier tipo es el cáncer, cuya aparición dura años y atraviesa diferentes fases. Los encargados de este proceso son los agentes cancerígenos, por ejemplo, el asbesto, las radiaciones ultravioleta del sol o el virus del papiloma humano, además, una mala alimentación o el uso de sustancias como el alcohol o el tabaco ayudan a la generación de estos agentes [2]. Estos agentes modifican el material genético, es decir, crean una mutación, lo que provoca que las células modificadas se multipliquen a una velocidad mayor a la normal, este es el primer proceso de la creación de un tumor. El cáncer más frecuente en México es el de mama, con 27,500 casos por año; seguido del de próstata con 25,000; colon, 15,000; tiroides 12,000; cervicouterino, 7,870 y de pulmón con 7,810. A su vez, el cáncer de mama ocasiona 7,000 defunciones al año, el de próstata 6,900; colon, 7,000; tiroides, 900; cervicouterino, 4,000, y pulmón, 6,700, de acuerdo a cifras de la Secretaría de Salud [3]. Los tumores cerebrales ocupan el lugar 19 de entre todas las neoplasias y son muy letales [4]. Tal como lo expuso en 2020 Aliesha González del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, al año se diagnostican 300 mil nuevos casos de tumores cerebrales en el mundo, y, en México, el número de casos ocurridos es de 3.5 por cada 100 mil habitantes [4].

La detección temprana del cáncer durante el tratamiento es primordial, debido a que proporciona información vital para el médico. Hoy en día, las resonancias magnéticas, las tomografías computarizadas, las ecografías y las tomografías por emisión de positrones permiten detectar y diagnosticar una amplia gama de problemas cerebrales, lo que reduce en gran medida la necesidad de una "cirugía exploratoria" para hacer un diagnóstico. El tratamiento y las pruebas de imágenes mediante la inteligencia artificial hoy en día se utilizan de forma rutinaria para quienes sufren una lesión en la cabeza, tienen dificultades de aprendizaje o de atención o cuyos dolores de cabeza no responden a los medicamentos. Se puede escanear a un atleta para descartar una

Recibi documento
Benjamín Luna

hemorragia después de una colisión en el campo de juego, o a un conductor o pasajero después de un accidente automovilístico, sólo para revelar un tumor. [5].

Para el diagnóstico de un tumor cerebral, el médico realiza una serie de pruebas y procedimientos. Principalmente, efectúa un examen neurológico como control de la visión, audición, equilibrio, coordinación, fuerza y reflejos, para, posteriormente, de ser necesario, realizar una prueba de diagnóstico por imágenes [6]. La detección de un tumor en una prueba de este tipo se lleva a cabo mediante una resonancia magnética, además del uso de la técnica de segmentación, la cual proporciona una imagen por regiones, discriminando tejidos sanos de tejidos con anomalías [7]. Esto facilita a los médicos el análisis y diagnóstico de un tumor. Pero, al final del día, es mediante la interpretación humana, basada en experiencias, que se detectan estos tumores. Sin embargo, la prevención y detección temprana son esenciales para, en el caso de un tumor benigno, poder removerlo cuanto antes, o, en la posibilidad de un tumor maligno, disminuir las cifras de mortalidad por cáncer, ya que se registra 14% de las defunciones por esta enfermedad, de acuerdo a datos del Instituto Nacional de Cancerología (INCan). Por otra parte, se considera que el 30% de casos son prevenibles y otro 30% se puede diagnosticar oportunamente, lo que generaría un 60% de probabilidad de curación, razón por la que es importante fomentar estas acciones ya que el cáncer, durante su etapa inicial, no duele. Cuando se registran los síntomas es porque ya está avanzado ya que comprime los nervios y ocasiona dolor u obstrucción, dependiendo de dónde crezca el tumor [3].

La discriminación de tejidos sanos de enfermos se puede realizar mediante Redes Neuronales, las cuales conforman el Deep Learning. El Deep Learning es una parte de la Inteligencia Artificial que agrupa técnicas de Machine Learning (Aprendizaje Máquina) la cual se basa en modelos de Redes Neuronales [8]. Dentro del área de Aprendizaje Máquina, existen varios tipos de aprendizaje como lo son el aprendizaje supervisado, no supervisado y el reforzado, además, permite realizar técnicas como Regresión, Clasificación, Reducción Dimensional y Agrupación.

Una Neurona Artificial está relacionada sólo de forma remota con sus contrapartes biológicas [9]. Una Red Neuronal Artificial tiene neuronas conectadas a capas de otras neuronas y estas a su vez a otras capas. Conceptualmente hablando, tienen una o más entradas y, a través de una función de activación mediante un proceso matemático, crean una salida. Existen diferentes tipos de Redes Neuronales Artificiales, como la Red de Hamming, Red de Hopfield, Red ADALINE, Red Perceptrón o la Red Perceptron Multicapas con su algoritmo Backpropagation, entre otras [9]. Estas Redes se entrenan y con cada entrenamiento van aprendiendo.

Estas características pueden ejercerse para brindar servicios médicos a la sociedad. Este proyecto hace hincapié en la necesidad de la creación de un software que brinde servicio auxiliar de salud, como lo es el prediagnóstico de tumores cerebrales, ya que actualmente la cifra de especialistas en el país es mucho menor a lo recomendado internacionalmente, esto deriva en un servicio insuficiente en esta área de la salud, una herramienta como esta agilizaría el proceso de detección de tumores considerablemente en el país. Es por esto que en este Trabajo Terminal se propone el desarrollo de una herramienta, diseñada con Redes Neuronales Artificiales mediante técnicas de Aprendizaje Máquina y un conjunto de entrenamiento basado en Resonancias Magnética, que sea capaz de identificar una imagen con presencia de tumor, para así auxiliar tanto a médicos que no son especialistas en neoplasias cerebrales, como a los que ya lo son.

Estado del arte

Se realizó una investigación de diversos trabajos relacionados con el análisis de tumores, con el objetivo de asegurar que las aportaciones del sistema realmente proporcionan una parte de innovación en el tratamiento de protuberancias. La Tabla 1 resume algunos de los trabajos encontrados.

Tabla 1. Estado de arte.

Nombre	Descripción	Origen	Año
Detección y clasificación de tumores cerebrales con alimentación de Red neuronal Back-Prop	El método propuesto toma las imágenes de una resonancia magnética de entrada que al someterse a conversión de imagen gris, creación de plantillas, el cálculo de la correlación experimenta la detección y ubicación y segmentación del tumor	International Journal of Computer Applications	2016
Desarrollo de una red neuronal convolucional para reconocer patrones en imágenes	Este proyecto es sobre el reconocimiento por patrones de una imagen que se inicia con la implementación de redes neuronales convolucionales (CNN), con el objetivo de diferenciar entre imágenes de diferentes animales, utilizando un software de aprendizaje profundo (Deep Learning) con el fin de que el modelo pueda clasificar nuevas imágenes. El entrenamiento de la red será aplicarle diferentes condiciones como la resolución, iluminación, entre otros; permitiendo el mínimo error de clasificación en la CCN y posteriormente poder aplicarlo para analizar datos volumétricos en 3D.	Universidad Simón Bolívar, Barranquilla-Colombia	2019
Brain tumor identification using deep learning	Se diseña una red neuronal de retropropagación, que auxilia en la detección incipiente de cáncer de mama, mediante datos obtenidos.	Department of CSE, Sri Sairam Engineering College, West Tambaram, Chennai, India	2020
Aplicaciones de las redes neuronales y el deep learning a la ingeniería biomédica	En este artículo se presenta una revisión actualizada de las principales aplicaciones de las redes neuronales y el deep learning a la ingeniería biomédica en las ramas de la ómica, la imagenología, las interfaces cerebro-máquina y hombre-máquina, y la gestión y administración de la salud pública; ramas que se extienden desde el estudio de	Grupo de investigación SISTECBIO, Ingeniería Biomédica, Universidad Manuela	2020

	procesos a nivel molecular, hasta procesos que involucran grandes poblaciones.	Beltrán, Colombia	
Brain tumor detection using MRI and CT image	Se realiza la detección de tumores cerebrales mediante la fusión de características tomografía computarizada “CT” y resonancia magnética “MR” de la imagen. La fusión de imágenes de imágenes médicas, generalmente implica combinar información de múltiples modalidades como: imagen de resonancia magnética (IRM), tomografía computarizada(CT), tomografía por emisión de positrones (PET) y tomografía computarizada por emisión de fotones (SPECT).	Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Chhattisgarh Swami Vivekanand Technical University, Bhilai, Chhattisgarh, India.	2020
Deep Learning for Brain MRI Segmentation	Esta revisión tiene como objetivo proporcionar una vista de la actual aplicación de segmentación basada en el aprendizaje profundo Proaches para resonancia magnética cerebral cuantitativa. Primero revisamos las arquitecturas de aprendizaje profundo actuales utilizadas para la segmentación de estructuras cerebrales anatómicas y lesiones cerebrales. A continuación, el rendimiento, velocidad y propiedades de las aplicaciones de aprendizaje profundo, los enfoques se resumen y discuten. Finalmente, se proporciona una evaluación crítica del estado actual y se identifican probables desarrollos y tendencias futuros.	Zeynettin Akkus, Alfia Galimzianova, Assaf Hoogi, Daniel L. Rubin2	2017
Redes neuronales artificiales aplicadas a la detección de cáncer de mama	Se desarrolla, implementa y valida un método para apoyar al diagnóstico médico en la detección oportuna de cáncer de mama haciendo uso del procesamiento digital de imágenes así como las redes neuronales artificiales.	Instituto Politécnico Nacional, Centro de Innovación y desarrollo tecnológico en cómputo	2015

Los trabajos previamente expuestos, se desarrollaron, en su mayoría, con Redes Neuronales Convolucionales, las cuales son un recurso que también se empleará en esta propuesta debido a que es una técnica de clasificación de imágenes que ayudará para el análisis en imágenes de Resonancia Magnética del cerebro.

2. Objetivo

Desarrollar un prototipo de software orientado principalmente a médicos sin especialidad en la detección de tumores cerebrales, que le permita detectar neoplasias de diferentes tamaños; mediante una red neuronal convolucional, entregando así un prediagnóstico en donde se confirme su existencia.

Objetivos Específicos:

1. Obtener y clasificar un conjunto de datos validado por un médico o institución competente.
2. Realizar el procesamiento y normalización del conjunto de datos que va a ingresar a la Red Neuronal.
3. Diseñar un modelo de Red Neuronal Artificial Convolucional considerando aspectos necesarios con el fin de evaluar la resonancia magnética introducida por el usuario, y así, en caso de existir, obtener del clasificador la localización y precisión de la existencia de una neoplasia.
4. Diseñar una interfaz gráfica que permita al usuario hacer uso de los datos para el prediagnóstico (registro, consulta y resultados).
5. Diseñar una interfaz gráfica.

3. Justificación

México atraviesa por un problema respecto a los especialistas médicos, los resultados obtenidos en 2018 por la División de Estudios de Posgrado en la Facultad de Medicina de la UNAM contabilizaron 147,910 especialistas para una población de 123,518,272 habitantes; 69% contaba con certificación vigente de la especialidad. Se obtuvo una tasa de 119 especialistas por 100,000 habitantes; 54.2% se encontraba en la Ciudad de México, Estado México, Jalisco y Nuevo León. En promedio había 1.7 especialistas varones por cada mujer, concluyendo que el número de especialistas es inferior al recomendado internacionalmente e insuficiente para cubrir las necesidades en salud del país [10]. Además, otra alarmante cifra dentro de ese mismo estudio reflejó que en la especialidad de imagenología diagnóstica y terapéutica la cual se especializa en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades y lesiones utilizando técnicas de imágenes médicas, tiene una tasa de 3.09 por cada 100,000 habitantes [10]. Estos números son críticos, agregando el posible error humano en el que pueden caer estos especialistas al momento de diagnosticar, existen otras problemáticas como la resolución de algunos monitores los cuales no permiten apreciar la imagen con claridad. Haciendo que el diagnóstico de la detección de un tumor en México sea impreciso, tardado e incluso de un coste elevado. La premisa no es sustituir al médico, sino proveer de una herramienta a los especialistas actuales y a los que estén en formación, agilizando el diagnóstico. Uniendo ambas técnicas, aplicando Aprendizaje Máquina al área Médica y siendo supervisada por médicos podemos tener una herramienta que ayude a los médicos no especializados al diagnóstico de esta enfermedad y no solo eso, esperar que los errores de diagnóstico sean reducidos. Se atacará el problema generalizando cualquier tipo de tumor presente en el cerebro, de esta forma, mediante la aprobación médica se realizarán los estudios convenientes, como la detección de cáncer, la cual requiere una análisis de muestra de tejido, identificando primeramente el tumor. En principio, para realizar pruebas médicas con imágenes se pueden realizar de diferentes formas, algunas por mencionar son: Tomografía computarizada(TC), Resonancia Magnética Nuclear, Tomografía por Emisión de Positrones (TEP) [11].

Las Redes Neuronales Convolucionales aparecieron a finales de los años 90 's, pero recientemente se han vuelto muy populares debido la invención de las GPU que a pesar de que se crearon para la comunidad gamer, su óptimo diseño ha ayudado a las operaciones de Redes Neuronales, acelerando así el cálculo requerido, impactando en el área de visión por computador [8]. Son similares a las Redes Neuronales convencionales, ya que de igual forma tienen parámetros en forma de pesos y bias. Pero su rasgo particular es que de forma explícita sus elementos de entradas son imágenes.

Con la premisa de que podemos obtener imágenes internas de diferentes maneras, precisamente las Redes Neuronales necesitan un conjunto de datos de entrenamiento para poder crear el proceso de clasificación. Para esto, el primer paso para el proceso de entrenamiento de la Red Neuronal será utilizar un conjunto de imágenes del cerebro que nos servirán de entrenamiento y prueba; imágenes del cerebro en los que se presenta y no tumores, realizando un previo análisis de dicho conjunto de datos para separar y etiquetar cada elemento.

En el presente trabajo además de incluir la Inteligencia Artificial en la cual se hará uso de los principios de programación, estadística y bases de Álgebra Lineal para las operaciones matriciales en el diseño de la Red Neuronal, se realizará la creación de Base de Datos para los diferentes usuarios y el diseño de la interfaz. Todo esto mediante las pautas de la ingeniería de software, incluyendo un estudio profundo del Área Médica relacionada a la Oncología.

4. Productos o Resultados Esperados

En la figura 1 se presenta un diagrama general del prototipo, con el fin de mostrar el producto esperado que contendrá los siguientes módulos:

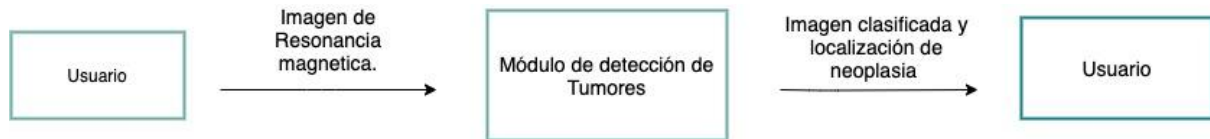


Figura 1. Diagrama del proceso general y resultados esperados

El software recibe la imagen de Resonancia Magnética de un paciente.. La imagen pasa a través del módulo de detección de tumores para ser evaluada por la Red Neuronal.

El modelo que corresponde a la detección del tumor se muestra a continuación en la figura 2.

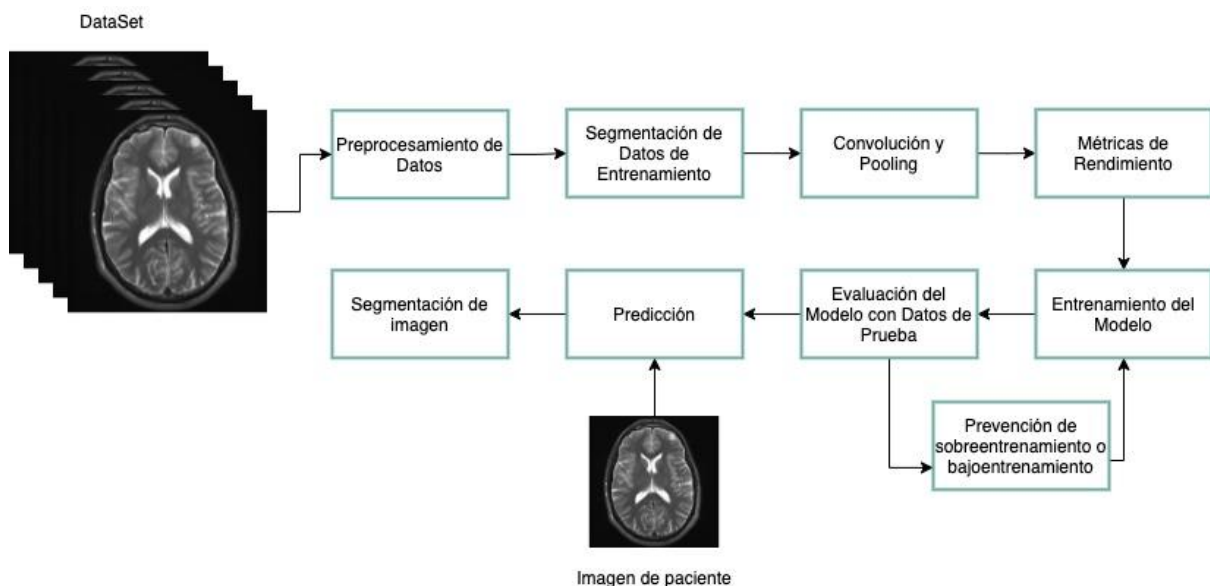


Figura 2. Diagrama del módulo de detección de tumores

El conjunto de datos se obtendrá de [12] para entrenar el modelo, este repositorio contiene imágenes médicas de cáncer abiertas al público en formato DICOM, donde cada colección está relacionada con una enfermedad en común. Previo al análisis de la imagen ingresada por el usuario, el conjunto de datos sirve como entrenamiento, validación y prueba, como parte de la creación del modelo de la Red. El usuario carga la imagen, la cual pasa por un procesamiento similar al del conjunto de entrenamiento y prueba, para que la red pueda clasificar la imagen.

Las siguientes líneas describen el diagrama anterior:

1. Obtención y preparación de los datos, que será un conjunto de imágenes de Resonancia Magnética.
2. Separación de los datos para entrenamiento y evaluación del modelo. Datos de entrenamiento, validación y prueba.
3. Preprocesado de datos es donde los datos sufren normalización y procesamiento como lo es reescalar, conversión a tensores, instanciar generadores de lotes.
4. Para centrar el área de interés, se realiza una búsqueda selectiva y obtención de regiones del conjunto de datos seleccionado, siendo la neoplasia el objetivo.

5. Definición del modelo de red, la cual realizará extracción de características por medio de la convolución y condensación de la información mediante pooling; con la definición de pesos, bias, función de activación, número de neuronas y número capas.
6. Configuración del modelo con la definición de función de pérdida, optimizador y métricas.
7. El entrenamiento del modelo se realiza variando un número de épocas como hiperparámetro para obtener la mayor precisión posible de la red con la arquitectura definida.
8. Evaluación del modelo mediante los datos de prueba.
9. Predicción con una imagen nunca antes vista por el modelo entrenado.
10. Utilizar técnicas de prevención de sobreentrenamiento o bajoentrenamiento, como una reducción al tamaño del modelo, añadir regularizaciones, generación de nuevos datos a partir de los ya existentes.
11. Como resultado final, se espera tener un modelo con la mayor precisión posible. Mostrar como resultado de la red la imagen clasificada y en caso de contener neoplasia mostrar la localización de esta dentro de la imagen ingresada.

Los productos que se espera obtener son los siguientes:

- Red Neuronal Convolucional capaz de identificar tumores de un negativo del cerebro.
- Precisión (Accuracy) de la red, tanto de entrenamiento y prueba.
- Presentación de segmentación de anomalía.
- Documentación Técnica.
- Manual de Usuario.

5. Metodología

Se decide emplear la metodología Desarrollo en Espiral, debido a que necesitaremos realizar diferentes iteraciones, probando y empleando diversos algoritmos, y mejorando otros. Nuestra comunicación con el cliente es esencial, ya que esto determinará si se ha logrado alcanzar el objetivo.

Gracias a que es una metodología con retrospectiva en cada actividad, podemos enfrentar los riesgos que surjan y realizar mejoras, haciendo un análisis minucioso de cada proceso predecesor sobre el cual se esté trabajando en cualquier punto dado de la espiral. Se pretenden realizar entre 3 y 4 giros de espiral, esto solo es a consideración de que la comunicación cliente-desarrollador pueda otorgar alguna mejora.

Ya que el proyecto presenta como reto el testing de algoritmos e iteración de ciertos procesos, podemos decir, que si bien se conocen las herramientas a trabajar, no se descarta el uso de nuevos recursos, esto a su vez creará un espacio experimental entre procesos, y así, decidir si se procede al siguiente ciclo apoyándose de prototipos para el manejo de riesgos del proyecto [13].

La propuesta del lenguaje de programación principal con el que se llevará a cabo esta tarea será Python. Este lenguaje interpretado provee de diversas herramientas de Deep Learning, como lo es TensorFlow; un ecosistema propuesto por Google y que se ha popularizado por ser un entorno para el desarrollo de Deep Learning ya que mejora el rendimiento de entrenamiento en términos de escalabilidad [8]. Además del uso de la librería Keras que provee de una API que permite crear modelos para Redes Neuronales Artificiales.

6.Cronogramas

Álvarez Arciga Héctor.

[illegible]

Segura Bautista Guillermo.

Actividad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Análisis de Requerimientos												
Integración de Requerimientos												
Análisis de Factibilidad y Riesgos												
Modelado de diagramas												
Análisis de riesgos segmentación de imágenes												
Planificación del siguiente ciclo												
Evaluación de TT1												
Análisis de riesgos de la red neuronal convolucional												
Planificación del siguiente ciclo												
Desarrollo de interfaz de usuario y salida de prototipo												
Elaboración de Manual de Usuario												
Evaluación TT2												

López García Felipe de Jesús.

Actividad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Identificar interesados y sus necesidades												
Generar entregables												
Descripción del sistema												
Definición de herramientas y tecnologías a utilizar												
Desarrollo de segmentación de imágenes												
Evaluación de TT1												
Desarrollo de red neuronal convolucional												
Determinación de objetivos para interfaz de usuario y salida de prototipo												
Verificación y evaluación de interfaz de usuario y salida de prototipo												
Planificación del siguiente ciclo												
Elaboración de Manual de Usuario												
Evaluación TT2												

7. Referencias


- [1] Desarrollo del Cáncer, Cancer Quest Winship Cancer Institute, [Online]. Available: https://www.cancerquest.org/es/biologia-del-cancer/desarrollo-del-cancer?gclid=CjwKCAiA1eKBBhBZEiwAX3gql2DuGaQL3dlbU-jXeeJPjB4xe3tVOIGkWscQea-KoRBO0-LByPIInjxoCelAQAvD_BwE#17
- [2] Origen del Cáncer, Asociación Española Contra el Cáncer, [Online]. Available: <https://www.aecc.es/es/todo-sobre-cancer/que-es-cancer/origen>
- [3] El cáncer en México y en el mundo, Asociación Mexicana de Lucha Contra el Cáncer A.C. [Online]. Available: <https://www.amlcc.org/el-cancer-en-mexico-y-el-mundo/>
- [4] Aliesha González, Boletín UNAM-DGCS-580, Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, julio 2020, [Online] Available: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2020_580.html
- [5] Early Detection Can Be Key to Surviving a Brain Tumor, Philip E. Stieg, Ph.D., M.D. Neurosurgeon-in-Chief, [Online]. Available: <https://weillcornellbrainandspine.org/early-detection-can-be-key-surviving-brain-tumor>
- [6] Tumor Cerebral - Diagnostico, Mayo Clinic, [Online]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/brain-tumor/diagnosis-treatment/drc-20350088>
- [7] IEEE Xplore, "Brain Tumor Detection Approaches: A Review", 2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT), 2018: [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8748692>
- [8] Jordi Torres, Python Deep Learning, Alfa Omega Grupo editor, Abril 2020, pp. 15, 39, 40, 157.
- [9] Martin T. Hagan, Neural Network Design, 2da Edición, eBook, pp. 1-8, 3-3, 3-8, 3-12, 10-2, 11-7.
- [10] Gerhard Heinze, Víctor Olmedo, Germán Bazán, Napoléon Bernard y Diana Guízar, "Los médicos especialistas en México", Gaceta Médica de México, 2018, pp. 342, 347.
- [11] Cómo se diagnostica el cáncer, Cancer.org, [Online]. Available: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/diagnostico-estadificacion/diagnostico>
- [12] Cancer Imaging Archive, [Online]. Avariable: www.cancerimagingarchive.net
- [13] Ian Sommerville. Ingeniería de Software. Séptima edición. Pearson Educación, S.A., Madrid, 2005., pp. 68.

8. Alumnos y Directores

Alvarez Arciga Hector .- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Escuela Superior de Cómputo. Especialidad Sistemas, Boleta: 2015630542 , email: thorhecescom@hotmail.com

Firma: 


López García Felipe de Jesús .- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Escuela Superior de Cómputo, Especialidad Sistemas, Boleta: 2016630208, email: flopezg1501@alumno.ipn.mx

Firma: 

Segura Bautista Guillermo .- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Escuela Superior de Cómputo. Especialidad Sistemas, Boleta: 2015630481 , email: guillermosegurab@gmail.com

Firma: 

Chavarria Baez Lorena .- Doctora en ciencias en Ingeniería Eléctrica opción Computación por el CINVESTAV - IPN. Profesora de la ESCOM. Áreas de interés: sistemas de información, bases de datos. Correo: lorena_chavarria@yahoo.com.mx

Firma: 

Luna Benoso Benjamín .- Doctorado en el CIC del IPN. Profesor Titular C en la ESCOM, Áreas de Interés: Reconocimiento de patrones, análisis de imágenes. blunabenoso@gmail.com

Firma: 