

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología II (Odontología Conservadora)



TESIS DOCTORAL

**Aplicación de técnicas bioinformáticas en la predicción de fracasos
endodónticos por fracturas radiculares verticales**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Livia Campo Nieves

Directores

Vicente Vera González
Álvaro Enrique García Barbero
Juan Francisco de la Paz

Madrid, 2016

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA II. ODONTOLOGÍA CONSERVADORA



APLICACIÓN DE TÉCNICAS BIOINFORMÁTICAS EN
LA PREDICCIÓN DE FRACASOS ENDODÓNTICOS POR
FRACTURAS RADICULARES VERTICALES

MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR POR:

Livia Campo Nieves

DIRIGIDA POR:

Dr. Vicente Vera González

Dr. Álvaro Enrique García Barbero

Dr. Juan Francisco de Paz Santana

Madrid 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA II. ODONTOLOGÍA CONSERVADORA



APLICACIÓN DE TÉCNICAS BIOINFORMÁTICAS EN
LA PREDICCIÓN DE FRACASOS ENDODÓNTICOS POR
FRACTURAS RADICULARES VERTICALES

MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR POR:

Livia Campo Nieves

Madrid 2015

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer el apoyo prestado a mis tres directores.

Al **Prof. Vicente Vera González** por ser para mi un padre odontológico, por abrirme las puertas de todo sin poner límites a mi ambición ni mi ilusión. Por su apoyo, su cariño y su constancia; por sus consejos desinteresados y por darme todo con ilusión. Gracias por dirigir mi trabajo porque sin ti no hubiera sido posible acabarlo.

Al **Prof. Álvaro Enrique García Barbero** por su inestimable ayuda, por demostrarme que siempre puede haber algo más mucho mejor y renovado. Por todo su tiempo, apoyo, ánimo y correcciones porque el perfeccionismo siempre debe ser una virtud. Gracias por dedicarme desinteresadamente tantas mañanas, explicarme una y otra vez como debía organizarlo todo y ayudarme a que esto saliese adelante.

Al **Prof. Juan Francisco de Paz Santana** por abrirme un mundo desconocido, por sus explicaciones claras y rápidas que me han ayudado a comprender un poquito del mundo tecnológico donde el se mueve. Sin su ayuda este trabajo no habría sido posible.

En segundo lugar me gustaría agradecer el apoyo recibido por todos los miembros del **Departamento de Odontología Conservadora de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid** por su empuje, su ánimo y por hacer que este trabajo haya sido más divertido. A todos, a profesores, colaboradores, a mis gutapercheros y al personal auxiliar por hacer que esto quede en familia.

También me gustaría agradecer la ayuda recibida por el personal auxiliar que me ayudó a recoger, citar y coordinar todo el estudio de campo, sin ellas todo hubiera sido mucho más complicado. Gracias por el apoyo desinteresado e incondicional y por evitar que muchas veces perdiese la organización y el ánimo.

Por supuesto a mi familia. A mis **padres** por enseñarme que no existe gloria sin sacrificio y que la constancia y el trabajo obtienen recompensas. Por hacerme la persona que soy y llevarme de la mano durante todo mi camino, porque, sin entender muchas veces lo que estaba haciendo, darme ánimo, ilusión, apoyo y sobretodo cariño. A mi **hermana**, por ser mi otra mitad, por estar siempre, por su apoyo, por enfadarse junto a mi cuando algo me salía mal incluso más que yo y por celebrar lo que me salía bien todavía más. Por ser mi compañera de vida. A **Aitor y Jairo** porque nadie sabe lo divertida que puede ser la vida cuando te sientas a jugar en el suelo y debes trabajar y porque este trabajo no hubiera sido lo mismo sin tener dinosaurios en el teclado.

A mis **amigos** de siempre y de ahora, a mis niñas de la clínica por apoyarme en cada paso que daba, por estar ahí y ayudarme cuando me he caído, por sacarme cuando no podía salir y demostrarme que las cosas con risas saben mejor. Y como no a ti **Fran** por todo.

Índice

1) Introducción	10
a. Bioinformática. CBR	11
i. Estructura general del ciclo de vida de un Sistema CBR	15
ii. Tipos de sistemas CBR	23
iii. CBR predicciones	25
iv. Redes Bayesianas: historia y aplicaciones	31
b. Problemática endodóntica	41
i. Conceptos	41
ii. Prevalencia	46
iii. Factores de riesgo del tratamiento de conductos	49
iv. Diagnóstico	56
v. Pronóstico y tratamiento	59
2) Justificación	61
3) Hipótesis de trabajo y objetivos	65
4) Material y método	67
a. Material	68

b. Método	72
5) Resultados	89
a. Resultados estadística inferencial	90
b. Resultados CBR	94
6) Discusión	110
7) Conclusiones	137
8) Anexos	140
a. Anexo I. Consentimiento informado	141
b. Anexo II. Variables de estudio	142
c. Anexo III. Clasificación de dificultad por la AAE	143
d. Anexo IV. Tablas de contingencia	145
9) Resumen en inglés. Abstract	158
10) Resumen.....	172
11) Bibliografía.....	177

Introducción

BIOINFORMÁTICA. SISTEMAS DE RAZONAMIENTO BASADOS EN CASOS (CBR)

En los últimos años, los campos de la biomedicina y la bioinformática han experimentado un notable progreso en la prevención y detección de diversas enfermedades. Las técnicas de inteligencia artificial son comunes en otras ramas del conocimiento y habituales en la extracción de información relevante a diversos problemas [1]

El aprendizaje automático es un importante campo dentro de la Inteligencia Artificial (IA) y viene a representar la parte dinámica o adaptativa de la inteligencia. Los sistemas básicos de inteligencia artificial sólo resuelven los problemas ya previstos, mientras que la auténtica inteligencia reside en adaptarse al entorno, tener capacidad de resolver nuevos problemas y aprender de los errores [1, 2]

Los objetivos que persigue el aprendizaje automático no es tanto modelar el aprendizaje humano, sino superar los límites de los sistemas de IA habituales, cuyos límites vienen impuestos por el conocimiento que se les ha introducido, no siendo capaces de resolver problemas más allá. Partiendo de la premisa de que es imposible prever todos los problemas desde el principio, el aprendizaje automático pretende aportar a los programas de Inteligencia Artificial, la capacidad de adaptarse sin tener que ser reprogramados [1].

Entre las aplicaciones habituales de los sistemas de aprendizaje automático podemos encontrar las tareas difíciles de programar como el reconocimiento facial, las aplicaciones auto-adaptables, los interfaces inteligentes o los filtros anti-spam y la minería de datos que supone un análisis inteligente de grandes volúmenes de datos.

Como disciplina no hay una única forma de aprendizaje automático, diferenciándose distintos tipos en función de las características del aprendizaje. Los tipos de aprendizaje automático más importantes son:

- a. Aprendizaje genético: aplica algoritmos inspirados en la teoría de la evolución para encontrar descripciones generales a conjuntos de ejemplos.
- b. Aprendizaje conexionista: busca descripciones generales mediante el uso de la capacidad de adaptación de las redes neuronales artificiales.
- c. Aprendizaje inductivo: crea modelos de conceptos a partir de la generalización de ejemplos simples buscando patrones comunes que expliquen estos ejemplos.
- d. Aprendizaje analógico: busca una solución a un problema nuevo, en base a la existencia de similitudes con problemas ya conocidos y adaptando sus soluciones. Los sistemas de razonamiento basados en casos se integran en este tipo de aprendizaje. [3-5]

Los sistemas de razonamiento expertos son una rama de la Inteligencia Artificial con demostrado éxito, sin embargo enfrentan una serie de problemas importantes.

- En muchos casos es difícil extraer de expertos humanos el conjunto de leyes y normas que permitan crear un sistema inteligente.
- La implementación (utilización) de sistemas expertos es compleja.
- Una vez implementados, suelen ser lentos y tener problemas para acceder y manejar grandes volúmenes de información.
- Son difíciles de mantener. [5-7]

Con la intención de superar estos problemas, Kolodner en 1983 [8, 9] propuso un modelo revolucionario: un Sistema de Razonamiento Basado en Casos (CBR, Case-Based Reasoning) que utiliza como base el modelo de razonamiento humano. Desde entonces los CBR se han aplicado con éxito a un amplio espectro de problemas [1] [10, 11].

Un Sistema de Razonamiento Basado en Casos (CBR) resuelve problemas por medio de la adaptación de soluciones dadas anteriormente. La memoria de un CBR almacena un número de problemas y sus soluciones; ante un nuevo problema recupera casos similares y da una solución, es decir resuelve problemas buscando soluciones dadas con anterioridad. Un CBR es un sistema dinámico en el cual los nuevos problemas son añadidos continuamente a su memoria, de tal forma que los problemas parecidos o similares se eliminan y paulatinamente se crean otros mediante la combinación de varios ya existentes. La idea que impulsó esta metodología se basa en el hecho de que los humanos utilizan lo aprendido en experiencias previas para resolver problemas presentes [1, 12-14].

La utilización de Sistemas de Razonamientos Basados en Casos aplicados en el campo de la biomedicina es un campo joven, hasta ahora se han utilizado en una gran variedad de problemas médicos: en residencias sanitarias como método de control, en hipotiroidismo, en pacientes hemodializados o diabéticos, como método diagnóstico del grado de estrés de los pacientes o como método predictivo de evolución de cánceres o de leucemias [3]. La odontología es un campo todavía no explotado, pudiendo establecerse como una parte dinámica y adaptativa a los problemas dentales, ofreciendo a su vez modelos de razonamiento predictivo aplicables a la problemática dental [15, 16].

Los casos típicos admitidos para su análisis con CBR deben ser casos cuyo problema, bien estructurado contenga la experiencia pasada y la información del contexto, por tanto serán [2]:

- 1) Casos que describen problemas y sus soluciones pueden utilizarse para generar nuevas soluciones en nuevos problemas.
- 2) Casos compuestos por problemas y resultados que puedan emplearse para evaluar nuevas soluciones.
- 3) Casos formados por problemas, soluciones y resultados que puedan utilizarse para evaluar resultados de posibles soluciones y por tanto, evitar riesgos así como posibles problemas.

Los casos se pueden presentar de forma diferente en función del problema pero toda la información debe ser funcional, fácil de entender, de interpretar y de recuperar [17].

➤ **ESTRUCTURA GENERAL DEL CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA CBR**

Un sistema CBR obtiene la solución a un problema determinado analizando problemas pasados, comparando y adaptando el problema a la situación determinada. Para ello basan su conocimiento en los problemas almacenados en su memoria en forma de casos, realizando todas estas acciones de forma estructurada y cíclica donde generalmente se requiere la intervención humana.

Los sistemas CBR se pueden utilizar de forma individual o formando parte de un sistema convencional o inteligente, pero están especialmente indicados cuando las reglas que definen un sistema de conocimiento son difíciles de obtener, o el número y complejidad de las mismas es demasiado grande para un sistema experto.

El objetivo del sistema CBR es encontrar una solución a un determinado problema buscando en su memoria casos similares con sus soluciones. Una vez seleccionados estos casos se reutilizan para generar una solución inicial que se revisa y crea un nuevo caso almacenado en la memoria para su posterior utilización. Los casos de la memoria se pueden eliminar o mezclar para generar nuevas situaciones que solucionen los nuevos problemas introducidos.

Un sistema CBR se asemeja a la estructura general del conocimiento humano, si al buscar una solución esta es insatisfactoria, eliminará los casos y soluciones causantes de esta irregularidad buscando situaciones correctas y experimentadas en lugar de realizar asociaciones

generales entre problemas con iguales características como haría un sistema de razonamiento basado en reglas o depender del conocimiento general de un determinado problema [18] [19, 20].

Un CBR es un sistema de aprendizaje incremental puesto que cada vez que resuelve un problema es posible crear otro y almacenarlo para su posterior utilización. No obstante, requiere de la intervención humana en muchas situaciones especialmente en la fase de revisión de la solución y en la retención de nuevos casos; esto supone su mayor inconveniente ya que requiere de la presencia de un experto.

Cada problema a estudiar define la estructura del sistema CBR basándose en la necesidad de comparar las características sintácticas o semánticas de los casos y las soluciones.

El ciclo de vida de un CBR está compuesto por cuatro fases necesarias para la resolución de un nuevo problema (Figura 1).

1. Recuperación de los casos más similares al problema actual.
2. Reutilización de los casos o problemas recuperados con la intención de solucionar el problema presente.
3. Revisión de la solución propuesta.
4. Retención o aprendizaje de la nueva solución como parte de un nuevo caso. [1, 2, 21, 22].

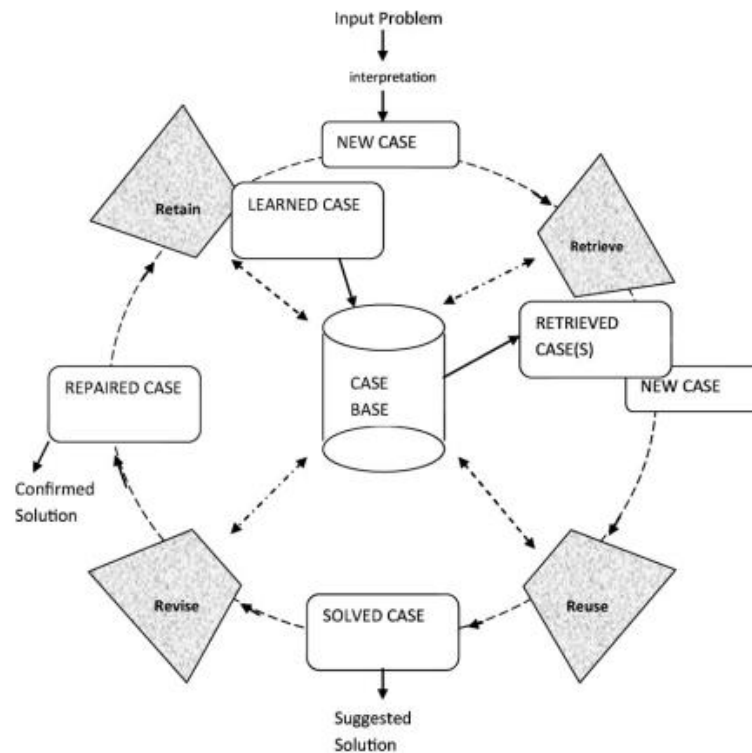


Figura 1: ciclo de vida de un CBR [18]

1. Recuperación

En esta fase, el sistema CBR extrae los casos almacenados en su memoria más similares al problema que se desea solucionar. Esta fase funciona en tres etapas consecutivas que deben seguir el mismo orden:

- Identificación de las características que definen un problema.
- Comparación inicial de los casos más similares al problema mediante reglas predefinidas.
- Búsqueda y selección del caso o grupo reducido de casos que más similitud tiene con el problema presente por el que se empezará a definir la nueva solución.

Aunque los sistemas CBR siguen un esquema bien definido, la naturaleza del problema en el que se centran determina la estructura final del CBR. Los casos más próximos al problema se seleccionan después de un estudio profundo de los casos recuperados inicialmente a partir de las características del problema. Esta selección es mucho más complicada que la elección inicial y en los sistemas actuales requieren la intervención humana lo que puede considerarse un gran inconveniente [23, 24].

La caracterización de un problema puede realizarse simplemente con el empleo de rasgos descriptivos pero es necesario un conocimiento intensivo del problema en su contexto para caracterizar los casos a elegir y/o adaptarlos al problema [21].

Además es necesario saber si los casos serán adaptados para determinar si serán necesarios o no mecanismos de aproximación de los casos elegidos. Es decir, los casos seleccionados serán valorados en función de sus rasgos descriptivos y una vez establecido el número de los mismos y la necesidad o no de adaptarlos al problema serán seleccionados para implementar el sistema CBR o no.

Las tres formas más normales de recuperar casos son:

1. Utilizando punteros directos indexados que apuntan a las características de los problema.

2. Buscando en una estructura de índices previamente establecidos.
3. Realizando búsquedas en modelos de conocimiento general.

En algunos sistemas es necesario para poder recuperar un caso que todas las características que lo definen sean iguales o muy similares a las del presente problema. En otros sistemas es necesario cuantificar las características que definen un problema y su importancia. Así se puede realizar una comparación más flexible y establecer límites de aceptación. Si el problema requiere un conocimiento intensivo de un dominio en particular y un entendimiento profundo de todas sus características es necesario realizar un análisis de: condiciones, objetivos, motivaciones y tendencias.

El caso más próximo al problema a resolver se selecciona tras un estudio profundo de los casos recuperados inicialmente. Este estudio depende de las características del problema. Por ejemplo, la selección del caso más adecuado puede ser realizada después de un estudio que defina por qué el resto de los casos no son adecuados desde un punto de vista semántico. Este proceso, en general, es mucho más complicado que la selección inicial de los casos y en la mayoría de los sistemas actuales requiere la intervención humana [21].

2. Reutilización

En la fase de reutilización, el sistema CBR estudia las diferencias entre el caso o casos seleccionados anteriormente y el problema existente viendo cuáles son las características de los casos seleccionados que se pueden trasladar al problema presente.

En los problemas simples de clasificación, las diferencias entre los casos se ocultan y sólo se tienen en cuenta las similitudes, en este momento el problema adopta la solución del caso recuperado. En la mayoría de las ocasiones las diferencias son importantes y es necesaria una adaptación de las soluciones.

Las soluciones se pueden adaptar mediante:

- Reutilización transformacional. Reutilizando soluciones dadas a problemas anteriores. La solución al caso presente no es la solución adoptada para esta situación pero existe una transformación que da lugar a una solución al presente problema a partir de las soluciones de los casos recuperados. El principal problema es determinar los algoritmos adecuados para la adaptación de los casos recuperados para generar la nueva solución.
- Reutilización derivacional. Se reutilizan los métodos empleados para generar soluciones en los casos pasados. El caso recuperado debe contener la información relacionada con el método utilizado incluyéndose así para cada operación utilizada, objetivos, alternativas generadas y problemas encontrados en la búsqueda de la solución. En este tipo de reutilización se usa el método antiguo para resolver el nuevo problema [25].

3. Revisión

En esta fase la solución propuesta se examina minuciosamente. Si es aceptada, puede utilizarse durante la etapa de aprendizaje, pero si la solución es insatisfactoria se puede modificar o reparar usando un conocimiento específico acerca del problema en cuestión.

La evaluación de una solución se realiza normalmente aplicando dicha solución a un problema real, y son sus características las que determinan cuando se puede llevar a cabo esta evaluación, siendo en ocasiones necesario el uso de simuladores. Si la solución se debe modificar, es necesaria la identificación de los errores cometidos durante la generación de la solución y poder explicarlos usando técnicas basadas en explicaciones. Una vez identificados los errores la solución se repara usando la explicación al error y evitándolo cuando aparezca [26]

4. Aprendizaje

Los sistemas CBR durante esta fase identifican los aspectos que pueden aprender o memorizar y por tanto incluir en la memoria. Deben tener en cuenta las modificaciones de la fase anterior para realizar sus tareas más importantes:

- Seleccionar la información contenido en los casos en que debe memorizarse.
- Definir cómo debe almacenarse la información obtenida.
- Establecer los mecanismos de indexación del nuevo problema para así poder reutilizarlo en un futuro.

- Definir la forma de integrar el nuevo caso en la estructura de la memoria determinando si las fuentes del aprendizaje son, a partir de las características que describen, un problema o la solución dada al problema.

Un CBR es un sistema dinámico donde su memoria debe modificarse continuamente a partir de los problemas resueltos, es decir, si un caso reutiliza y adapta una nueva solución esta puede generalizarse o incluso crear un caso nuevo donde, en muchas ocasiones, es necesaria la ayuda de un experto para crear dicho caso.

La actualización de la memoria es el paso final de esta fase, lo que constituye el verdadero aprendizaje por medio de integración de varios casos e indexación de los mismos ajustando cada caso en función del éxito o no de su reutilización [2, 18].

Por tanto, la indexación de los casos tanto nuevos como reutilizados es un punto crucial en el aprendizaje del sistema CBR; dicho sistema admite índices predictivos lo suficientemente concretos como para identificar los casos de forma idónea, flexibles para adaptarse a los cambios necesarios y adecuados para el problema en el que se utilizan [7, 22]

Existen varios mecanismos de indexación de los casos, unos automáticos y otros que requieren la intervención manual de un experto. En general los métodos de indexación automática pueden ser:

1. Indexación basada en las características y atributos más representativos del problema, una vez analizados se ordenan y se indexan teniendo en cuenta el valor cuantitativo de sus características [2].
2. Indexación basada en diferencias, seleccionados los índices que forman las diferencias entre los casos se pueden separar las distintas soluciones de un problema. Ordenadas e indexadas se utilizan para solucionar nuevos problemas [8, 9].
3. Indexación basada en la generación de índices de similitud. Agrupando características similares y creando nuevos rasgos comunes a todos ellos se indexan soluciones a cada caso individual [27].
4. Indexación mediante aprendizaje inductivo. Identificando las características, estas se usan como índices y se indexan mediante algoritmos de inducción [28]
5. Indexación basada en explicaciones. Analizando cada caso y determinando cuáles son sus características fundamentales se utilizan en un determinado orden para identificar los nuevos casos [18, 29].

➤ TIPOS DE SISTEMAS CBR

Existen muchos sistemas de CBR; aunque todos comparten la misma estructura cada uno se adapta mejor a un tipo de problema en particular.

- Razonamiento basado en ejemplares: son sistemas que centran su aprendizaje en la definición de conceptos. Los casos parecidos se agrupan en clases que absorben las

características más importantes de los casos asociados; la solución buscada debe ser la que, en general, represente las características de cada problema en particular. La solución más similar al problema se utiliza como solución a este problema [5, 21].

- Razonamiento basado en instancias: son sistemas que basan su aprendizaje en ejemplares centrado en problemas con fuertes connotaciones sintácticas, es decir, situaciones donde hay un número muy grande de casos que dan un amplio espectro de posibilidades. Se aplican en problemas donde falta conocimiento general de las leyes que rigen el comportamiento del sistema.
- Razonamiento basado en memoria. Estos sistemas tienen en su memoria una colección de casos y el razonamiento es un proceso de recuperación de estos casos almacenados.
- Razonamiento basado en casos. Este tipo de aprendizaje requiere que:
 - Un caso tenga un número de características distintivas y relevantes con una estructura interna relativamente compleja.
 - Un CBR debe ser capaz de adaptar la solución recuperada al contexto en el que está inmerso.
 - El sistema CBR requiere cierto conocimiento del problema general.
 - El algoritmo utilizado se debe basar en las teorías desarrolladas en el ámbito de la psicología cognitiva [8, 9].
- Razonamiento basado en analogías: estos sistemas intentan resolver un problema utilizando casos antiguos procedentes de un conocimiento diferente [30].

➤ CBR Y PREDICCIONES

En el ámbito bibliográfico no hay demasiados CBR diseñados con el objetivo de realizar predicciones en tiempo de ejecución. Científicos como Nakhaeizadeh (1994) y Lendaris y colaboradores (1994) han utilizado algoritmos KNN que puede ser aplicado en la etapa de reutilización de un CBR para la predicción de series temporales. No obstante esta técnica puede no dar muy buenos resultados cuando la memoria de casos aumenta considerablemente puesto que sería necesario calcular numerosas distancias con los casos de la memoria.

Lendaris y Fraser (1994), utilizan la misma técnica para realiza predicciones en un conjunto de datos buscando en su secuencia los segmentos similares al segmento para el cual se quiera encontrar una predicción. Mantienen como premisa que similares antecedentes poseen similares consecuentes.

La siguiente tabla (Tabla 1) presenta un conjunto de sistemas que, o bien utilizan un razonamiento basado en casos para solucionar un determinado problema de predicción, o bien están basados en fundamentos similares a los CBR. La mayoría de los modelos presentados en dicha tabla proporcionan mejores resultados que otros sistemas expertos utilizados en los mismos problemas. Los modelos predicen ventas, costes de diseños de edificios, niveles de polución atmosférica, terapias de ventilación artificial, evolución temporal y espacial de fuegos y epidemias.

Sistema y autor	Área de aplicación	Fase de Recuperación	Adaptación	Fase de Revisión	Indexación/aprendizaje	Elemento distintivo
Modelo CBP Klein G., Whitaker L. 1988	Planificación administrativa. Razonamiento Analógico.	-	-	-	-	CBP: predicciones basadas en comparaciones.
CORAL_L Martin J. 1989	Modelo General.	Probabilidades condicionales para seleccionar las variables más representativas	-	-	-	Recuperación utilizando: k-vecinos próximos.
Mcintyre S. H., Achabal D. D. Miller C. M. 1993	Predicciones de ventas.	Recuperación utilizando: k-vecinos próximos (Vectores ponderados).	Adaptación con métricas de similitudes.	Manual: realizada por un experto.	Manual: realizada por un experto en el dominio.	Combina y adapta los casos recuperados.
Stottler R. H. 1994	Predicción de los costes en el diseño de edificios	Supervisión de expertos y reglas predefinidas.	Supervisión de expertos y reglas predefinidas.	Supervisión de expertos y reglas predefinidas.	Supervisión de expertos y reglas predefinidas.	Resumen de ventajas e inconvenientes de los CBR.
AIRQUAP Lekkas G.P., Arouris N.M., Viras L.L. 1994	Predicción de niveles de contaminación atmosférica.	Métricas de comparación. (Vectores ponderados).	Utilización de 2 heurísticas diferentes, en función del nivel de contaminación	Supervisión de expertos.	Los casos son almacenados sin modificarse, debido a la complejidad del sistema.	La predicción requiere supervisión de un experto.

VIE-VENT' Miksch S, Horn W., Popow C., Paky F. 1995	Planificamient o de la terapia de ventilación artificial necesaria para recién nacidos.	Métricas de comparación. (Vectores ponderados).	Abstracción de datos utilizando varias métricas diferentes.	Abstracción manual realizada por expertos.	Los casos se crean automáticamente.	Predicciones en tiempo real.
REBECAS Rougegrez S 1995	Predicciones de la evolución temporal y espacial de fuegos.	Estudio de fuegos anteriores: Vectores ponderados.	No hay	No hay	La historia de los fuegos constituye los casos.	Predicciones en tiempo real.
Bull, M. Kundt, G. Gierl, L. 1997	Predicción de la aparición y evolución espacial y temporal de Epidemias.	Heurísticas, Métricas de comparación. (Vectores ponderados).	Modelos estadísticos	Revisión del error en la predicción.	El error en la predicción se utiliza para mejorar las métricas.	La predicción requiere supervisión de un experto.

Tabla 1: CBR utilizados en distintas predicciones

Todos los modelos presentados en la tabla utilizan estructuras simples para representar los casos. La implementación de estas métricas requiere un estudio muy preciso de los problemas a los que se apliquen, ya que se basan en la definición de reglas, límites y fronteras entre variables y valores. Se compararan los vectores de valores que representan los diferentes casos del mismo problema. Los resultados obtenidos en la comparación determinan la similitud entre los casos.

Esta técnica ha resultado ser adecuada en los casos presentados en esta sección, pero es poco flexible ya que la aparición de nuevos casos requiere la redefinición manual de los límites y variables.

La adaptación de casos, como se puede ver en la columna cuarta de la Tabla, se hace de varias formas diferentes. En algún caso se utilizan métricas de similitud y modelos estadísticos; en algunas situaciones, es necesario que los casos recuperados se adapten directamente por expertos al problema en cuestión. Si el problema es muy complejo puede no haber adaptación. Una adaptación adecuada es indispensable en cualquier CBR para obtener buenos resultados.

Si es necesaria la revisión de los resultados, esta se realiza en la mayoría de los casos por expertos en la materia que aplican las reglas mediante su adaptación a situaciones concretas.

Los próximos apartados resumen cada uno de los modelos presentados en la Tabla.

CBP

El modelo CBP no se puede considerar un CBR. Se ha incluido en la clasificación ya que está basado en los mismos fundamentos teóricos en los que se basan los CBR. CBP presenta una metodología basada en el razonamiento analógico. CBP está diseñado para ayudar a expertos en problemas de planificación administrativa. Los autores aseguran que puede reducir los errores de planificación hasta un 30%. [31]

CORAL_L

Martin (1989) presenta este modelo para facilitar la recuperación de problemas y soluciones antiguos. No se puede considerar un CBR per se; CORAL_L propone el uso de probabilidades condicionales que automaticen la selección de las variables que deben tenerse en cuenta a la hora de recuperar casos pasados. El modelo mantiene probabilidades condicionales entre pares de variables. Si hay relaciones que proporcionan bajos resultados en determinados contextos, es necesario definir nuevas relaciones.

MCINTYRE

Mcintyre y colaboradores (1993) muestran como los CBR se pueden utilizar en predicciones de ventas. Proponen un modelo que requiere la intervención de un experto en la materia. El modelo aconseja recuperar varios casos, adaptarlos de forma manual y combinarlos posteriormente.

STOTTLER

Stottler (1994) utiliza un CBR para predecir los costes en el diseño de edificios. Aconseja la intervención de expertos en todas las fases del ciclo de vida del CBR. Muestra las ventajas y los inconvenientes de los CBR en problemas de predicciones y describe las etapas de un CBR típico.

AIRQUAP

Lekkas y colaboradores (1994) presentan un sistema cuyos fundamentos vienen del campo del razonamiento basado en casos. El objetivo del sistema es predecir los niveles de

contaminación atmosférica en Atenas (Grecia). La predicción se hace en tiempo real y requiere la supervisión de un experto. En el modelo los casos se crean automáticamente a partir de datos obtenidos por sensores atmosféricos y posteriormente se añaden a la memoria sin ningún tipo de adaptación.

VIE-VENT

Vie-Vent (1995) utiliza un CBR para planear la terapia de ventilación necesaria para recién nacidos con problemas respiratorios. Es un sistema que funciona en tiempo real y que utiliza varias métricas de comparación en la fase de recuperación del CBR. Los casos recuperados son abstraídos, generalizados y finalmente se adaptan utilizando varias métricas predefinidas. Los expertos supervisan y revisan la solución dada por el CBR. En el sistema los casos se crean automáticamente a partir de datos de los pacientes provenientes de sensores y sólo se recuperan las partes de los casos que son necesarias.

REBECAS

Rougegrez (1993, 1995) ha desarrollado un modelo para predecir en tiempo real, la evolución de los fuegos de forma espacial y temporal. Los casos se crean a partir de la historia hecha por los bomberos después de cada fuego y durante la recuperación de los mismos. Sólo se recuperan aquellas partes de los casos que sean relevantes para el fuego en el que se utilice el sistema.

BULL

Bull y colaboradores (1997) han desarrollado unos sistemas para predecir la aparición y evolución de epidemias espacial y temporalmente. De la misma forma que en el caso anterior, este sistema requiere la supervisión de un experto. Utiliza modelos estadísticos para adaptar los casos que han sido a su vez recuperados utilizando métricas y heurísticas de comparación. Los errores de predicción se utilizan para mejorar las métricas utilizadas en la etapa de recuperación. [11, 14, 15, 32]

➤ REDES BAYESIANAS

Las redes bayesianas son modelos probabilísticos gráficos acíclicos dirigidos que representan un conjunto de variables y sus dependencias condicionales. Por ejemplo las relaciones entre enfermedades y síntomas. [33]. Las redes bayesianas, al igual que otros clasificadores, se pueden aplicar durante la etapa de adaptación de los sistemas CBR para la generación de la predicción a partir de los casos recuperados.

Las redes bayesianas están basadas en los principios de probabilidad obteniendo información a partir de la evidencia conocida. De este modo, tan diferente a los ensayos clínicos clásicos, el diseño del estudio no interfiere en la capacidad predictiva del sistema experto. Sin embargo una mala distribución de la muestra o un mal diseño estadístico pueden desencadenar en las redes bayesianas errores que disminuyan las capacidades predictivas del sistema. No obstante,

un correcto estudio estadístico previo solventa estos problemas y la probabilidad de predicción aumenta. [34, 35]

Historia y aplicaciones de las redes bayesianas

A finales de los años 60 Richard Price consiguió publicar, a título póstumo, el trabajo de su amigo el reverendo Thomas Bayes, “Un ensayo en la solución de un problema en la doctrina de posibilidades” [36].

Este trabajo recogía las bases de la teoría de probabilidades desde la perspectiva de la interferencia estadística. Cox y Hinckley lo describen como la forma de combinar una distribución previa para un parámetro con la probabilidad de proporcionar posteriormente una distribución para este parámetro y lo actualizan utilizando las matemáticas [34, 37]

Autores como Lindley [38, 39], Box y Tia [40] o Raiffa y Schaiffer [41] han estado defendiendo la aplicación clínica del sistema bayesiano [42-45]. No obstante, hasta 1981 no se publica un artículo donde se realizan tomas de decisiones mediante sistemas bayesianos, aplicados a la evaluación de servicios públicos de sanidad [46]

De forma muy ligera, Armitage [47] en sus estudios dedica algunas páginas al teorema de Bayes y su aplicación en el diagnóstico médico de la enfermedad cardíaca congénita.

En 1970 Bernardo [48] comienza la documentación de estos estudios estadísticos probabilísticos lo que provocó que en 1979 se reuniesen en Valencia los expertos en el tema para establecer las bases de los sistemas Bayes y las posibles aplicaciones médicas que estos podrían tener. Se aplicaron en situaciones de trasplantes de riñón y como mecanismo para controlar cambios de tratamiento en pacientes psicológicos [49-52].

En los años siguientes, no se realizó mención alguna a los sistemas bayesianos en el ámbito médico hasta que Armitage y Newman en 1982 hicieron un llamamiento para la aplicación de los sistemas bayesianos haciendo emerger la aplicación bayesiana en la medicina actual [49, 53].

En 1983 se comenzó a utilizar la aproximación bayesiana en una amplia gama de áreas como la educación, los seguros, las leyes y más ampliamente en la medicina (trasplantes de riñón y su seguimiento, ciclos de ovulación y detección de los portadores de beta-talasemias) [54-56]. Además este mismo año se celebró la segunda reunión de expertos en Valencia donde se expuso la necesidad de realizar verdaderos ensayos de las aplicaciones teóricas del sistema Bayes en cáncer vaginal de ratas, prescripciones médicas, diferentes clasificaciones de enfermedades de los lactantes y predicción del índice de supervivencia de pacientes con cáncer [57-61]. Suscitándose un gran debate.

En 1984 Spiegelhalter y Knill-Jones [62] publican su estudio sobre la aplicación de los sistemas bayesianos en la toma de decisiones clínicas en el ámbito psicológico siendo la culminación clínica de la aplicación informática en los estudios clínicos.

En 1986 Racine aplicó la predicción bayesiana en la industria farmacéutica mediante ensayos cruzados de farmacodinámica y farmacocinética [63]. A partir de este momento el teorema de Bayes fue tomado en cuenta para el diagnóstico, seguimiento y toma de decisiones clínicas en numerosas situaciones clínicas: tasa de mortalidad de Missouri en función de edad, sexo y agua [64] y métodos de Weibull bayesiano para comparar respuesta dicotómicas [65, 66]. Haciendo de este año el año decisivo para la estadística bayesiana y su utilización como enfoque de predicción probabilística.

A partir de 1987 fueron muchos los estudios publicados enfocados a la integración del sistema Bayes en el ámbito numérico [67-69] y en el ámbito médico [70], ensayos de casos y controles, ensayos clínicos, preclínicos y de supervivencia además de ensayos farmacéuticos [54, 71, 72]. Estableciendo que los enfoques bayesianos son especialmente apropiados para la toma de decisiones clínicas.

Durante los años posteriores se realizaron estudios utilizando los sistemas bayesianos pero se redujo la aplicación médica de estas aproximaciones a la utilización independiente de Bayes para el diagnóstico médico [73, 74].

En 1980 se publicaron trabajos de aplicación de sistemas bayesianos en la relación etiológica de cáncer de esófago y alcohol y el cáncer vaginal entre otros. Además se intentó monitorizar la aplicación de un tratamiento 24 horas después de su aplicación en pacientes [75-77]. Las compuertas se abrieron y la aplicación bayesiana a la medicina se desarrolló ampliamente en los años siguientes. En el diagnóstico [78, 79], la detección [80], y la estimación de la prevalencia de todas las enfermedades [81], descripción y detección de la epidemia de SIDA [82, 83], predicción de los trasplantes de córnea [84], comparación de técnicas experimentales [85], sobretodo en la fase III clínica de los estudios [53, 86], la farmacovigilancia [87], ecología [88], el mapeo espacial y temporal de los tipos de cáncer [89, 90], los estudios de casos y controles, de múltiples ensayos, los datos longitudinales [91] el análisis de punto de cambio para la detección de la ovulación [92] y la investigación de los efectos respiratorios de un accidente del medio ambiente [93], el proceso de renovación [94], y grandes bases de datos [95, 96].

En los años posteriores Gibbs estableció las bases científicas necesarias para el modelado gráfico de los muestreos para meta-análisis combinando los sistemas Bayes con una remodelación gráfica de aplicación en el análisis de la contaminación atmosférica y su influencia en la salud, en modelos de regresión que permiten el error en tratamientos crónicos, en las predicciones de evolución del cáncer a partir de cinco variables binarias, y patrones de sueño de los niños o en la evolución de la vacuna de la influenza.

En los años 90 se fueron consolidando todos los aspectos necesarios para la aplicación clínica de los sistemas Bayes. Gracias a las investigaciones de Gibbs que en 1994 ya los aplicaba en inmunología, farmacología, trasplantes, detección de cáncer, epidemiología y genética.

Theseand fue el primero en aplicar los modelos jerárquicos en el campo de la medicina, en concreto en el ámbito longitudinal y aleatorio de los meta-análisis del campo de la obstetricia. En este momento el sistema Bayes ya era utilizado en numerosas situaciones ya que siempre se evitaba el error de sesgo. Las aplicaciones desarrolladas en estas décadas produjeron un cambio rápido y radical en muchos ámbitos de la medicina ya que se aplicaron para:

1. Comparar métodos diagnósticos en el cáncer de cuello de útero.
2. Establecer la mortalidad por cáncer ocupacional, la cartografía de cáncer, la mortalidad por zonas geográficas y la mortalidad de asignación en los Países Bajos.
3. Desarrollar la cartografía de la Hepatitis B en Berlín, la mortalidad de asignación en Missouri, la cartografía de las tasas de reemplazo de rodilla en los EE.UU.
4. Establecer el trabajo en los genes supresores del cáncer de vejiga, tasas de transición entre los estados de la enfermedad coronaria, el análisis de una serie de 2×2 de tablas de un estudio de casos y controles.
5. Predecir el estadio del VIH en el momento de diagnóstico y las covariables, detectar el VIH mediante diversos esquemas de muestreo, estimar la distribución de CD4 en el momento del diagnóstico de SIDA, modelar el efecto de la zidovudina en el recuento de CD4 en el VIH, modelar los recuentos de CD4 y los tiempos de supervivencia censurados en el SIDA al mismo tiempo.
6. Determinar la supervivencia en múltiples escalas de tiempo (modelos de cohortes de edad-período), evitar la falta de datos en peligro de regresión, evitar el azar de modelado de los coeficientes de regresión, de las medidas repetidas en experimentos de modelado tanto farmacocinéticas como farmacodinámicas.

7. Realizar diagnósticos médicos, modelar la distribución de peso al nacer, estimar la eficiencia de las vacunas, detectar la eficacia de un ensayo de vacuna tumoral autólogo.
8. Predecir la muerte cardíaca valorando las medidas repetidas de datos sobre el tiempo de reacción múltiple.
9. Facilitar la elección del modelo en un ensayo de prevención de la depresión, para obtener múltiple comparación, óptimo diseño experimental y adecuada interpretación de los estudios médicos [97]

A partir de 1997 los sistemas bayesianos cada vez se aplicaban a situaciones médicas más complejas incluyendo la recientemente florecida área de la genética molecular, la genética de poblaciones o los algoritmos de comparación para el muestreo [98]. Se desarrolló tanto el área médica de la aplicación del sistema Bayes que ya se utilizaba para valorar estrategias de acumulación de la fase I de los ensayos [99], seleccionar el diseño óptimo para experimentos de dosis-respuesta [100], decidir la dosificación específica del paciente en la fase I de ensayos de cáncer [101] o la escalada de dosis cuando el evento se retrasó [102], analizar los intermedios de los ensayos clínicos sobre el cáncer de fase II [103, 104], evaluar los resultados en un subgrupo de ensayo clínico, asignar los niveles de significación para varios puntos finales sobre la base de información previa [105], ayudar en la elección del tamaño de la muestra y la asignación de los servicios públicos; en general ayudar a la reducción de sesgo en los ensayos [106-108]. Además también se aplicaban los datos bayesianos en la fase III de los estudios clínicos, sobre la cuantificación, el seguimiento y la predicción de los análisis clínicos [109].

La idea de la utilización de los sistemas Bayes para clasificaciones médicas se desarrolló a principios del año 2001 para investigar el procedimiento posterior a un infarto de miocardio [110]. En este momento los sistemas bayesianos, no exentos de problemas, ofrecían un marco de trabajo sistémico que incluía: la identificación de las áreas geográficas con el exceso de incidencia de leucemia [111], el mapeo de la mortalidad por cáncer de pulmón [112], el mapeo de la supervivencia del cáncer de mama y el melanoma maligno [113], el análisis temporal de las tasas de cáncer de pulmón [114], el mapeo de la frecuencia de cáncer de labio en Escocia [115], y la mortalidad por asma en Taiwán [116]. Además estudios posteriores presentaban la aplicación de estos sistemas para establecer tasas de frecuencia de cáncer de mama de Cerdeña y los datos de mortalidad infantil o predecir la tasa de la Leishmaniasis en Brasil [117].

De aquí se lanzó la carrera en la aplicación de los sistemas bayesianos aplicándose a casi todo:

- Detección de la tasa de beta-interferón en pacientes con esclerosis múltiple.
- Análisis genético de la edad de la menopausia.
- Control de calidad de los estudios longitudinales, y de la fiabilidad de las pruebas cognitivas para la enfermedad de Alzheimer.
- Modelado farmacocinético.
- Estimación de prevalencia de depresión en adolescentes de muestreo en dos etapas.
- Determinación de prevalencia del VIH, momento de la transmisión del VIH al niño, edad de la incidencia de VIH, clasificación de los individuos basado en predictores de efectos aleatorio el VIH / SIDA y el riesgo de infección por VIH en función de la duración del uso de drogas por vía intravenosa.

- Elaboración de directrices médicas para la angiografía coronaria después de infarto agudo de miocardio.
- Valoración de la retinopatía diabética para evaluar los costes y beneficios de las estrategias de detección y tratamiento.
- Análisis de hiperparatiroidismo en pacientes en hemodiálisis.
- Diseño óptimo para la sincronización de las colecciones de células madre.
- Determinación del antígeno específico en el cáncer de próstata como marcador.
- Determinación de un modelo que evite falsos positivos en el cribado de cánceres de mama y la detección de interacciones en estudios de casos y controles de este cáncer.
- Evaluación de la disolución del fármaco equivalencia.
- Predicción de las tasas de contagio de hepatitis A y malaria.
- Determinación del valor de información ideal para elegir el tamaño muestral de determinados estudios.
- Modelado de datos categóricos multivariados para comparar la eficacia de limpieza de dientes con diferentes cepillos.
- Modelado de ecuaciones estructurales para relacionar el bajo peso al nacer con alteraciones en el desarrollo de la primera infancia.
- Diseño de estudios de salud para ajustar los costes hospitalarios, los riesgos de evaluación profesional y la fiabilidad de los mismos.
- Estudios de supervivencia a lo largo del tiempo como por ejemplo en casos de fibrosis pulmonar en fibrosis quística, casos de recurrencia de cáncer de próstata en niveles altos de PSA o supervivencia fetal en individuos bovinos con enfermedad de Huntington.

- Estudios de supervivencia de restauraciones dentales.
- Diagnóstico y cribado de tumores mediante resonancia magnética, detección de tuberculosis y toxoplasmosis o cribado de tumores de cáncer de próstata.
- Modelización de enfermedades infecciosas como VIH, tosferina, legionella, enfermedad meningocócica, malaria o colonización por priones.
- Aplicación en genética molecular, microarrays, segmentación de ADN y confección de meta-análisis de secuencia de datos genéticos
- Desarrollo de toma de decisiones en pacientes trasplantados de pulmón, detección de ganglios axilares en cáncer de pecho y la decisión terapéutica.
- Decisiones de salud pública. [97]

Pasados 300 años desde el nacimiento de Tomas Bayes los procedimientos están ahora en revisión en los grados y postgrados de estadística. Demostrándose así que la aplicación bayesiana no ha sido una moda pasajera y que estos métodos son una corriente aplicable en la problemática científica actual.

Mas allá de esto, se aplicará en áreas de desarrollo rápido donde se requiere flexibilidad e innovación, concretamente en el conocimiento del genoma humano y en la estadística médica más actual. [97]

PROBLEMÁTICA ENDODÓNTICA. FRACTURAS RADICULARES VERTICALES POSTERIORES AL TRATAMIENTO DE CONDUCTOS

➤ CONCEPTOS: FRACASO ENDODÓNTICO Y FRACTURA

El éxito es la situación esperada después de un tratamiento de conductos realizado correctamente. Sin embargo existen características clínicas y del paciente que pueden influir negativamente en el éxito de los tratamientos de conductos.

Se considera que el tratamiento está completamente acabado cuando el diente tratado se encuentra totalmente restaurado y ha recuperado su funcionalidad. No obstante, deben tenerse en cuenta también variables relacionadas con la ausencia de sintomatología clínica y radiológica y la capacidad funcional del mismo para considerarse un tratamiento totalmente exitoso.

La realización de un tratamiento endodóntico implica la intención de preservar el diente el mayor tiempo posible, principalmente evitando su pérdida y la aparición de sintomatología clínica. Sin embargo, existen condiciones clínicas que pueden contribuir al mal pronóstico del tratamiento: perforaciones del conducto, sobrestensión del relleno, fractura radicular, persistencia de biofilm

bacteriano, traumatismos dentales, fracturas de instrumentos durante el tratamiento, reabsorciones radiculares o la persistencia de periodontitis apical [118, 119]

El correcto diagnóstico preoperatorio del estado pulpar y periodontal es esencial para favorecer el éxito endodóntico, pero además, el correcto y amplio conocimiento del endodoncista de la anatomía dental y de las técnicas endodónticas, así como su destreza manual influyen positivamente en el éxito del tratamiento. El reto es superar el complejo de la morfología del canal y neutralizar los patógenos [120].

Históricamente han sido muchas las clasificaciones de los distintos [tipos de fracturas dentarias](#). Actualmente la Asociación Americana de Endodoncia reconoce cinco tipos distintos [118, 119, 121]. Figura 2

1. Líneas de fisura:

Este tipo de líneas, también denominadas grietas simples de esmalte son frecuentes en dientes de adulto tanto posteriores como anteriores. Afectan únicamente al esmalte de forma unitaria o múltiple y generalmente son asintomáticas pudiendo alterar la estética del paciente si aparecen en zonas anteriores y de forma múltiple. Normalmente no requieren tratamiento y se diagnostican mediante transiluminación ya que dejan pasar la luz.

Aunque no requieren tratamiento, están expuestas al medio oral y es recomendable sellarlas para evitar la contaminación bacteriana.

2. Cúspide fracturada:

Se denomina cúspide fracturada cuando una grieta pasa a fragmentar una de las cúspides del diente afectado (Ilustración. 3).

La lesión suele afectar a esmalte y dentina de premolares o molares. La sintomatología dependerá de la extensión de la misma y la profundidad de la lesión pero en general aparece hipersensibilidad al frío y a la masticación.

Tienen muy buen pronóstico cuando se elimina la cúspide fracturada y se realiza la correcta restauración con protección cusπίdea.

3. Diente fisurado:

Se considera diente fisurado a aquel diente donde una grieta se ha extendido desde la corona hasta la raíz sin haber separación de los fragmentos (Ilustración 4).

Suele afectar más a molares inferiores y premolares superiores y rara vez se da en dientes anteriores. Suele disponerse de mesial a distal y dar sintomatología típica de pulpitis irreversible en dientes vitales o sintomatología periapical en dientes endodonciados.

El tratamiento varía en función de la localización y profundidad de la fisura pero generalmente consistirá en la protección cusπίdea del diente tratado y del tratamiento de conductos en función del estado pulpar del mismo.

4. Diente partido:

Se denomina diente partido a aquel donde la fisura inicial ha llegado hasta la porción apical y existe separación de los fragmentos radiculares (Ilustración 5).

Afecta tanto a la porción coronal como a la porción radicular y produce dolor a la masticación dado por la periodontitis y el absceso periodontal apical.

5. Fractura radicular vertical (FVR)

Esta lesión se da únicamente en la raíz dentaria por lo que la corona impide su visualización intraoral (Ilustración 6) dificultando su correcto diagnóstico.

Presenta sintomatología periapical sin que haya lesión radiográfica hasta que aparece un estallido radicular.

Generalmente se relaciona con postes inadecuados en forma o tamaños, la remoción excesiva de tejido dentinario o el exceso de fuerzas durante la fase de obturación del tratamiento de conductos [118, 121].



Figura 2: Tipos de Fracturas. Clasificación de la AAE.

En nuestro caso, centraremos el estudio en los casos de dientes rotos o fracturas radiculares verticales. Definiremos nuestros casos como aquellos que presentan una fractura completa o incompleta que se inicia en la raíz del diente a cualquier nivel y que generalmente lleva un recorrido vestibulo-lingual o palatino afectando tanto a estructuras dentarias como a estructura ósea y al ligamento periodontal. Numerosos autores apuntan a que las fuerzas ejercidas durante los tratamientos de conductos se transmiten directamente a la superficie dentinaria adyacente. Cuando la tensión ejercida desde el canal es superior a la tensión que la dentina circundante puede soportar se produce la propagación o inicio de la fractura.

Las propiedades mecánicas de la dentina dependen básicamente de su estructura, composición y orientación de la misma con respecto al conducto radicular. La dentina tubular se considera más resistente cuando las fuerzas ejercidas sobre el diente son perpendiculares al eje axial de los túbulos dentinarios, oscilando los valores de microdureza para la misma entre 250 y 800 Mpa en función de su localización. [122]

La fuerza que la dentina adyacente al conducto soporta está relacionada con la cantidad de la misma que exista, elevando la incidencia de estas fracturas en dientes con gran pérdida de tejido remanente. No obstante es muy inusual encontrar fracturas verticales durante la realización de los tratamientos de conductos ya que serían necesarios entre 10 y 12 kg de fuerza lateral para producir este tipo de lesiones y lo habitual es que se hagan entre 1 y 3 kg de fuerza [120, 123].

➤ **PREVALENCIA.**

La endodoncia supone el 20 % de los tratamientos realizados en la clínica dental, obteniéndose un 90% de éxitos. El 10% restante, suponen fracasos endodónticos con mejor o peor solución: de este 10 % casi un 40% se produce por fracturas radiculares verticales, suponiendo el 5% del total de las fracturas dentales. [4, 118, 124].

La fractura dentaria suelen aparecer con cierta frecuencia en la práctica general causadas por sobreesfuerzo funcional o por un defecto en la capacidad del diente para hacer frente a las fuerzas. La mayoría de las fracturas no son diagnosticadas o tratadas de forma adecuada. La endodoncia supone una disminución de la capacidad dental para soportar las fuerzas incidentes y por tanto, es un diente proclive a presentar fracturas [125].

Los dientes endodonciados pierden la vitalidad y la resistencia intrínseca del diente natural y por tanto se vuelven más frágiles. Entre las principales causas que explican esta pérdida de la resistencia podemos destacar que:

1. Los dientes endodonciados presentan una disminución de la hidratación, especialmente dada por la dentina lo que lleva a la desecación y pérdida de la flexibilidad.
2. Los dientes endodonciados tienen una gran pérdida de estructura dentaria especialmente de la dentina producida tanto por la caries que originó la patología como por la apertura para realizar el tratamiento.

3. Además los dientes endodonciados pierden su ligamento periodontal que se anquilosa perdiéndose a su vez la capacidad de absorción o amortiguación de las fuerzas [118, 124].

Los dientes son estructuras de elevada dureza y resistencia capaces de soportar todo tipo de esfuerzos razonables que actúen sobre ellos. Actúan como un cuerpo presentando una rigidez y elasticidad considerables lo que unido al efecto amortiguador del ligamento periodontal permiten disminuir los esfuerzos que recaen sobre el diente repartiéndolos a lo largo del espacio periodontal.

De todas las fracturas radiculares que se producen entre un 3 y un 5% son fracturas verticales posteriores al tratamiento de conductos. Este tipo de fracturas afectan principalmente a pacientes de media o avanzada edad que, dado su difícil diagnóstico, conviven con un diente fracturado durante elevados periodos de tiempo.

Las fracturas verticales pueden aparecer a cualquier altura de la raíz dental y extenderse longitudinalmente de cervical a apical o de apical a cervical indistintamente. Comienzan en la cara interna de la dentina adyacente al conducto tratado y por las fuerzas masticatorias van avanzando a lo largo de la raíz hasta realizar una fractura completa o incompleta de la misma. La pulpa y el ligamento periodontal están relacionados anatómicamente y comunicados por vasos sanguíneos y estructuras nerviosas a través del foramen apical, los conductos laterales y las posibles bolsas

periodontales. Cuando se produce una fractura vertical, se producen conexiones no fisiológicas que favorecen el paso de bacterias y substratos entre el endodonto y el periodonto. Esta comunicación anómala produce la sintomatología e indica el diagnóstico de fractura vertical.

Se dan principalmente en dientes con menor diámetro mesio-distal que vestibulo-lingual, generalmente en premolares tanto maxilares como mandibulares, en raíces mesio-vestibulares de molares superiores y en raíces mesiales de molares inferiores [123, 126].

Según estudios recientes realizados por Deog-Gyu quien realizó trabajos diagnósticos de fracturas radiculares verticales en dientes extraídos por esta causa, se determinó que no existen diferencias significativas entre sexos (51.4% para hombres y 48.6% para mujeres), que los molares superiores (28%) presentan mayor número de fracturas que los molares inferiores (25.2%) y a su vez los segundos molares superiores (16.8%) menor incidencia que los segundos molares inferiores (20.6%) y que los primeros. También existen mayor número de fracturas postendodoncia en los premolares maxilares (6.6%) que se afectan por fisuras que ocurren con una dirección mesio-distal.

En cuanto a la sintomatología que presentaban los pacientes, el 51% únicamente sentía molestias al masticar; pero hasta el 82.2% presentaba un test de mordida positivo. El 51.5% presentaba percusión positiva, el 48.6% un sondaje normal y solo el 12.1% un sondaje de más de 6 mm puntual [127] [128].

➤ **FACTORES DE RIESGO DEL TRATAMIENTO DE CONDUCTOS**

Las fracturas radiculares verticales post-endodoncia, no tienen una etiología clara; se trata de una etiología multifactorial donde numerosos factores del tratamiento pueden favorecer la aparición de estas lesiones o estimular el crecimiento de fracturas incipientes latentes durante mucho tiempo.

Todas ellas están relacionadas con la fuerza lateral que se ejerce durante la conformación de los conductos tratados y con la obturación de los mismos.

De esta forma, los factores del tratamiento de conductos más influyentes en la producción o aumento de las fracturas verticales son:

1. **Factores de riesgo no modificables.**

La pérdida del tejido pulpar favorece la pérdida de humedad de la dentina adyacente haciendo que el diente tratado con endodoncia posea un módulo de elasticidad menor que el diente vital [129].

Esta pérdida en la elasticidad del mismo se traduce en una menor absorción de las fuerzas de compresión de la masticación lo que facilita la aparición de fracturas radiculares verticales.

La existencia de una pulpa vital, la conformación de las coronas y de las raíces de los dientes y la constante humedad de los túbulos dentinarios en un diente vital favorecen la distribución de las fuerzas masticatorias o de las fuerzas oclusales creadas por parafunciones a través del eje axial del diente [129].

2. Factores de riesgo controlables

1. Instrumentación del conducto.

El objetivo principal de la endodoncia supone la eliminación de todas las bacterias y detritus del conducto para conformar el mismo y sellarlo mediante la obturación de los conductos [130, 131].

En las últimas décadas se ha producido un gran avance en los diseños y materiales de los instrumentos de preparación mecánica de conductos. La aparición de sistemas desarrollados en Niquel-Titanio (NiTi), ha favorecido la disminución de accidentes como formación de zips, transporte apical o perforaciones habituales en la instrumentación manual errónea. La flexibilidad del NiTi y unas estructuras geométricas específicas hacen que estos instrumentos eviten accidentes en la conformación del conducto. Creándose conductos perfectamente limpios, conformados, centrados y con el menor riesgo posible de transporte apical.

No obstante, los instrumentos rotatorios de NiTi presentan un elevado riesgo de fractura (0.9-5.1%) de los mismos durante su uso favoreciendo la aparición de

excesivas fuerzas intraconducto que podrían favorecer la aparición de defectos dentinarios o de cracks apicales [130].

La instrumentación de la región apical es el punto crítico para favorecer la aparición de fracturas verticales post-endodoncia. Un excesivo limado de la zona apical para favorecer la limpieza y conformación del conducto con el fin de desinfectar y poder obturar de la mejor forma posible; aumenta también la posibilidad de producir o propagar fracturas verticales. La controversia en cuanto a la instrumentación de tercio apical llega más allá del diámetro apical necesario para encontrar un equilibrio entre limpieza y excesivo limado; existen diferencias entre los autores con respecto a la longitud de nuestras preparaciones, algunos autores consultados establecen el límite entre 0 y 3 mm desde el foramen apical haciendo diferencias entre dientes vitales y dientes necróticos mientras que otros establecen la longitud en todos los dientes a 1-2 mm del foramen apical [132].

Estudios recientes de fatiga intraconducto revelan que las limas rotatorias sufren la mayor concentración de estrés en su superficie cuando se encuentran rotando en la zona apical de la preparación. El contacto con la dentina apical genera fuerzas de hasta 29.5 Mpa según los estudios de Kim et al. Dicha fuerza ejercida en este punto favorece la aparición de fracturas de los instrumentos y de excesivo estrés para la dentina adyacente al conducto y por tanto, la aparición de fracturas verticales [133-137]

2. *Acción química del irrigante*

El hipoclorito de sodio ha sido usado a lo largo de la historia endodóntica de forma muy exitosa ya que presenta tres características esenciales para la correcta desinfección de los conductos tratados. En primer lugar presenta una acción antimicrobiana inespecífica contra las bacterias del biofilm, en segundo lugar tiene una gran capacidad para disolver restos de tejido necrótico existentes en los conductos a tratar; y por último, tiene un precio lo suficientemente razonable como para que haya sido incorporado en numerosos productos comerciales [138].

El irrigante ideal para endodoncia no existe ya que se persigue el total desbridamiento de los restos de tejido, la disolución del barrillo dentinario, la lubricación del conducto, la destrucción de los microorganismos del biofilm y todo esto sin afectación odontoblástica. Por tanto, dado que el hipoclorito de sodio no es capaz de cubrir todas estas necesidades, en la actualidad se están combinando irrigantes para la correcta desinfección de los conductos tratados endodónticamente. El hipoclorito de sodio realiza una oxidación activa de la parte orgánica del barrillo dentinario desnaturalizando los componentes del colágeno y el ácido ethylenediaminetetraacético (EDTA) mediante una quelación cálcica destruye la parte inorgánica de este barrillo.

La acción del hipoclorito de sodio mediante la activación del mismo al ser diluido en agua produce iones cloro capaces de alterar las propiedades de la dentina

adyacente. Esta acción unida a la acción quelante del EDTA favorece la destrucción de la parte colágena de la dentina produciendo cambios químicos en su estructura y convirtiéndola en una dentina mucho más débil y más fácilmente fracturable [139].

La depleción de los componentes orgánicos de la dentina perirradicular tratada con hipoclorito de sodio, es irreversible favoreciendo la pérdida de hasta un 14% de su humedad lo que se traduce en cambios en su estructura física y química que favorecen la aparición de microcracks dentinarios y de la pérdida de resistencia a la flexión. La acción proteolítica del hipoclorito hace que la dentina tenga un menor módulo elástico y se favorezca la aparición de fracturas radiculares verticales [140].

No obstante la acción nociva del hipoclorito de sodio sobre la dentina varía en función de la concentración del mismo, del tiempo de utilización y del pH de utilización.

En cuanto a la neutralización del hipoclorito, estudios recientes desarrollados por Miranda Souza et al. [140] Demuestran que el hipoclorito de sodio alcalinizado, es decir sin ión cloro activo presentan mayor poder citotóxico contra la dentina pero menor capacidad de degradación del tejido orgánico ya que este ión es el encargado de eliminar los componentes nocivos del barrillo

dentinario. Por tanto la neutralización del hipoclorito no se podría establecer como una solución para evitar la disolución de la dentina adyacente al conducto.

En cuanto a la concentración y el tiempo de utilización, estudios recientes de Zhang et al. Demuestran que a mayor concentración de hipoclorito (5.25% frente a 1.3%), los efectos nocivos del mismo, es decir, la depleción del colágeno dentinario es mayor. Igualmente ocurre con el tiempo de utilización, cuanto mayor tiempo de contacto entre dentina e irrigante mayor pérdida de elasticidad por parte de la dentina y mayor riesgo de fractura vertical de la raíz [139].

3. *Condensación lateral en frío.*

Las fracturas verticales post-endodoncia suceden cuando la tensión ejercida sobre las paredes del conducto hace producirse un crack en la dentina o se favorece el crecimiento de líneas de fractura previamente establecidas [141].

Cuando por causas traumáticas o por avance definitivo de las bacterias en la pulpa dental es necesario el tratamiento de conductos, los objetivos que se persiguen son la limpieza y sellado del mismo para evitar la recontaminación bacteriana. La obturación de los conductos tratados endodónticamente es un punto de crítica importancia para favorecer el éxito del tratamiento [142].

Las técnicas de obturación clásicas requieren de la condensación del material de relleno mediante la ejecución de fuerzas laterales contra las paredes del conducto a tratar. La existencia de fuerzas realizadas en distintas direcciones favorece la transmisión de estas fuerzas a la dentina circundante y por tanto, la aparición o propagación de fracturas verticales [143].

La existencia de distintos cementos selladores intenta solventar esta necesidad de realizar fuerzas excesivas contra las paredes del conducto radicular. Dichos cementos sellan los lugares donde la gutapercha no es capaz de adaptarse. No existe el cemento ideal utilizado en endodoncia, existen numerosos materiales con suficiente capacidad antimicrobiana, apta biocompatibilidad y adecuada capacidad de sellado del conducto [142].

No obstante, los cementos selladores no deben ocupara nada más que las pequeñas interfases existentes entre las puntas del relleno y por tanto la aplicación vertical de los condensadores necesarios para obturar los conductos en frio, favorece la propagación o aparición de cracks dentinarios y por tanto de fracturas verticales radiculares [144].

➤ DIAGNÓSTICO

El diagnóstico de las fracturas verticales es complicado, debe unirse la exploración clínica del paciente a distintas pruebas complementarias ya que en numerosas ocasiones los pacientes conviven con estas fracturas durante largos periodos de tiempo y se diagnostican de forma casual o por molestias a la masticación. El correcto diagnóstico debe realizarse comparando los signos y síntomas del diente afectado con el diente contralateral y realizando una adecuada anamnesis del diente con patología para conocer su historia previa.

a) Signos clínicos.

En raras ocasiones la fractura es visible durante la exploración intraoral, normalmente no se halla hasta que no se ha extendido a lo largo del diente y hasta la región cervical.

La aparición de estas fracturas crea una comunicación entre la cavidad oral y el conducto radicular favoreciendo el paso de bacterias que provocan inflamación e infección. Además se produce una comunicación con el ligamento periodontal que facilita la pérdida ósea en la zona afectada.

La sintomatología del paciente es al principio muy leve, en principio un ligero dolor al masticar que va aumentando con el tiempo y la evolución de la fractura. El sondaje patológico va aumentando con el tiempo localizado en la zona de fractura y muy puntual.

Con el tiempo, la infección va aumentando y pueden aparecer fístulas, abscesos o afectación del margen gingival.

b) Signos radiológicos

En los estadios iniciales, las fracturas verticales no se pueden visualizar en las radiografías convencionales, sólo son visibles cuando los fragmentos han llegado a separarse.

La radiografía convencional ofrece una imagen en dos dimensiones por lo que la línea de fractura se queda en el espesor de la dentina y no es visible. De forma más avanzada, las fracturas radiculares verticales destruyen el hueso circundante dando una imagen radiotransparente unilateral no perirradicular [123].

En la actualidad las técnicas de diagnóstico en tres dimensiones evitan la realización de retratamientos o endodoncias quirúrgicas en dientes donde persiste la infección o la inflamación causada por una fractura radicular no diagnosticada ya que la radiografía convencional no es un elemento de diagnóstico determinante.

Desde la aparición del CBCT y su utilización en endodoncia es mucho más fácil evaluar la distribución de los conductos radiculares a tratar, determinar imágenes apicales radiotransparentes, diagnosticar infecciones persistentes o verificar la existencia de fracturas verticales y horizontales [145].

El diagnóstico diferencial de las fracturas verticales debe hacerse con las afecciones periodontales locales tales como lesiones endo-perio con afectación endodóntica primaria, reabsorciones cervicales externas, perforaciones iatrogénicas, fracturas longitudinales o conductos laterales.

En las lesiones endo-perio, se encuentra sondaje profundo en la zona bucal o lingual de todo el diente mientras que en los casos de fracturas es una zona puntual. Además las lesiones endo-perio afectan a molares no endodonciados donde las fracturas verticales son menos frecuentes.

En cuanto a las perforaciones del tercio apical producidas de forma iatrogénica por preparación defectuosa de conductos curvos, presentan lesiones periapicales similares a las fracturas verticales; por lo que el diagnóstico diferencial es más complejo y debe llevarse a cabo mediante procedimientos quirúrgicos exploratorios.

c) *Otras pruebas complementarias*

En algunas ocasiones puede realizarse la transiluminación del diente afectado con el fin de localizar la fisura al impedir esta el paso de la luz de polimerizar. También, se puede teñir la zona del diente donde se encuentra la duda diagnóstica con colorantes como azul de metileno o detector de caries para visualizar la fractura; o realizar técnicas de cirugías exploratorias para confirmar mediante la visualización directa, la existencia de estas patologías [123]

➤ TRATAMIENTO

La exploración y palpación minuciosa del paciente que acude con síntomas de patología pulpar pero que presenta un sondaje periodontal muy profundo en un determinado punto periférico y una imagen radiográfica en forma de lesión radiotransparente no periapical, deben hacer sospechar del diagnóstico de fisura o fractura radicular. En las ocasiones en las que la fractura es abierta y se ve de forma radiográfica el diagnóstico es mucho más sencillo.

Desgraciadamente el tratamiento de este tipo de fracasos, salvo situaciones de fisuras incompletas, no tiene más alternativas que la exodoncia por lo que es vital la prevención de los mismos mediante la protección de los dientes, el adecuado ajuste oclusal y la planificación idónea de la terapéutica endodóntica [118, 124, 125]

El pronóstico del órgano dental en las fracturas verticales es pobre cuando su extensión es cercana al ápice; el tratamiento usual es la extracción dental, ya que se provocan defectos en el ligamento y existe pérdida de tejido óseo. Se ha propuesto la colocación de resinas de adhesión para el tratamiento de las fracturas verticales, aunque con poco éxito. En este tipo de fracturas radiculares verticales es importante la realización de una correcta historia clínica, la cual incluye: edad del paciente, vitalidad pulpar, tipo de restauración, grado de dolor, presencia o ausencia de fístula, existencia de bolsa periodontal (generalmente se encuentra donde está la afectación radicular), grado de movilidad e historia de rehabilitación en caso de trauma físico. Adicionalmente, los hallazgos radiológicos son de gran importancia, como ensanchamiento del ligamento periodontal, halo radiolúcido perirradicular, depresiones óseas y separación o no de fragmentos radiculares. [118, 124, 125]

Justificación

La incorporación de las técnicas de inteligencia artificial en el ámbito de la biomedicina ha producido numerosas mejoras en el campo diagnóstico y preventivo de algunas enfermedades.

Los sistemas de Razonamiento Basados en Casos son una herramienta muy valiosa en el ámbito sanitario, para realizar predicciones en tiempo real, ofreciendo la posibilidad de modificar la conducta terapéutica o el pronóstico esperado.

En medicina los sistemas CBR se han utilizado clásicamente para controlar y mejorar el estado de salud de los pacientes crónicos, además de para observar y representar la situación de los enfermos. Actualmente son cada vez más utilizados para diagnosticar, clasificar y prever situaciones clínicas en tiempo real, no obstante no son muchos los diseños de CBR realizados para estas predicciones.

Todas las variaciones mantienen la estructura general de un sistema CBR clásico pero se adaptan a la predicción necesaria, siendo necesario un conocimiento básico del problema a estudiar para realizar el sistema de razonamiento.

No obstante, en el campo odontológico han sido mínimamente utilizados y en el campo endodóntico nunca se han utilizado para predecir el comportamiento de los

tratamientos realizados pudiendo establecer las premisas necesarias para adecuar las precauciones durante y después del tratamiento.

La terapéutica endodóntica representa una gran parte de los tratamientos realizados por el odontólogo y supone un último intento de salvación dental, sin embargo ofrece un porcentaje de fracasos. Dicho porcentaje de fracasos es muy poco elevado (entre un 5 y un 10%) pero estos fracasos endodónticos se deben en un 40% a fracturas radiculares principalmente verticales, lo que supone una situación prácticamente insalvable para los dientes tratados [4, 118, 124].

Por tanto, desde nuestro punto de vista, la incorporación de un sistema que permita predecir el comportamiento de los tratamientos realizados en función de las diferentes características del paciente, de la técnica y del profesional es de vital importancia. De esta manera, se podrían evitar, disminuir o cambiar los factores que influyen de forma negativa en el pronóstico de los dientes endodonciados facilitando que el clínico establezca un pronóstico lo más cercano a la realidad posible y haciendo que el paciente acomode sus expectativas a los datos esperados.

Por otro lado, podríamos ofrecer al clínico una herramienta de apoyo no utilizada hasta el momento que pueda facilitar y precisar su técnica clínica además de alertarle sobre el pronóstico de su tratamiento.

Es, por todo ello, que creemos necesaria la utilización de herramientas complementarias en el diagnóstico endodóntico que pronostiquen el éxito o fracaso de los tratamientos a realizar así como que alerten de los factores a eliminar o disminuir para evitar dichos fracasos. Los sistemas de Razonamiento Basados en Casos ofrecen esta herramienta necesaria para complementar el diagnóstico endodóntico.

Hipótesis de trabajo y objetivos

Suponemos que la aplicación de la Inteligencia Artificial, en concreto de los Sistemas de Razonamiento Basados en Casos, para predecir el comportamiento de los tratamientos endodónticos ayudará a establecer un pronóstico adecuado a la realidad y a eliminar o disminuir los factores considerados como negativos para el éxito del tratamiento.

- **OBJETIVO PRINCIPAL:** diseñar y aplicar un sistema de Razonamiento Basado en Casos capaz de predecir el fracaso de los tratamientos endodónticos, a partir de variables previamente establecidas relacionadas con el paciente y el tratamiento.

- **OBJETIVO SECUNDARIO:** establecer un conjunto de variables a tener en cuenta para predecir el fracaso endodóntico por fracturas radiculares verticales.

- **HIPÓTESIS NULA:** no existen sistemas de Razonamiento Basados en Casos capaces de predecir en tiempo real el fracaso endodóntico por fracturas radiculares verticales o dientes rotos existen variables individuales, técnicas o restauradoras que puedan desencadenar los fracasos endodónticos por fracturas radiculares verticales.

Material y método

➤ MATERIAL

Para la realización de este estudio hemos necesitado:

1. Revisión bibliográfica:

La búsqueda bibliográfica se realizó a través de las bases de datos PUBMED, COCHRANE Y COMPLUDOC utilizando las palabras clave: CBR, failure AND endodontics, artificial AND intelligence, biomedicine y CBR AND health sciences, endodontics AND root fractures; files AND root fractures y endodontic restoration AND root fracture.

Los artículos seleccionados se obtuvieron en la hemeroteca de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid, en la hemeroteca de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca o mediante descarga online de los mismos.

2. Recursos humanos:

- Un odontólogo investigador del estudio, realizando el programa de Doctorado.
- Una auxiliar de clínica.
- Ingenieros informáticos del Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca.

3. Muestra del estudio

El estudio se realizó sobre 205 pacientes que acudieron a una clínica odontológica privada en Madrid, durante los últimos 10 años. De estos 205 pacientes incluidos en el estudio, 105 fueron pacientes considerados como pacientes fracaso y 100 fueron controles, pacientes éxito.

La muestra debía cumplir los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

- Criterios de inclusión. Los pacientes debían cumplir todos los criterios.
 - Pacientes mayores de edad.
 - Pacientes con plenas capacidades para tomar decisiones.
 - Pacientes que hayan sido tratados en esta clínica dental en los últimos diez a los que se les haya realizado una endodoncia.
 - Pacientes que hayan acudido a esta clínica dental en los últimos seis meses anteriores a la recogida de los datos de este trabajo, entre octubre de 2012 y enero de 2013.
 - Pacientes incluidos en el grupo de **fracasos**.
 - Pacientes cuyas endodoncias hayan fracasado por fracturas radiculares verticales o dientes rotos.

- Pacientes que hayan acudido a dicha clínica dental para solucionar el fracaso y se les haya realizado una exodoncia.
- Pacientes que hayan acudido en los meses de recogida de datos o en los seis meses anteriores a la clínica para su revisión.
- Pacientes incluidos en el grupo de **éxitos**.
 - Pacientes cuyas endodoncias no hayan fracasado y lleven sin sintomatología clínica ni radiográfica como mínimo 5 años [120]
- Criterios de exclusión.
 - Casos excluidos del grupo de **fracasos**.
 - Pacientes que hayan acudido a la clínica dental pero que no hayan vuelto a controles posteriores como mínimo en los seis meses anteriores a las fechas de recogida de datos de este trabajo. Aunque se les hayan realizado endodoncias.
 - Pacientes cuyas endodoncias no hayan fracasado.
 - Pacientes cuyas endodoncias hayan fracasado pero lo hayan hecho por una causa diferente a la fractura corono-radicular.
 - Pacientes que no tenían radiografías panorámicas.

- Pacientes cuyas historias clínicas cumplían los criterios de inclusión pero no disponías de todas las variables que se estaban recogiendo.
 - Pacientes que rehusaron a colaborar en el estudio.
- Casos excluidos del grupo de **éxitos**.
- Pacientes cuyas endodoncias presenten sintomatología clínica o radiológica.
 - Pacientes que no hayan acudido a la consulta para revisiones en los como mínimo en los seis meses anteriores a la recogida de datos de este trabajo.
 - Endodoncias con fracturas radiculares verticales que no se hayan exodonciado que aunque sigan manteniéndose en funcionamiento la indicación correcta sería la extracción.
 - Pacientes que no tenían radiografías panorámicas.
 - Pacientes cuyas historias clínicas cumplían los criterios de inclusión pero no disponías de todas las variables que se estaban recogiendo.
 - Pacientes que rehusaron a colaborar en el estudio.

4. Material clínico y radiográfico.

- Guantes de látex y/o vinilo.
- Mascarillas.

- Espejo, sonda y pinzas para exploración.
- Aspiradores y jeringa de aire del sillón dental.
- Placas radiográficas intraorales.
- Placas panorámicas de cada paciente.
- Anillos posicionadores de radiografías.
- Tubo de rayos X intraorales.
- Negatoscopio de pared.

5. Documentación

Todos los pacientes firmaron una hoja de consentimiento informado (ANEXO I) y el investigador relleno por cada paciente una hoja Excel ® con todas las variables del estudio (ANEXO II).

➤ **MÉTODO**

La metodología empleada para la realización de este estudio es la siguiente:

1. Selección de los pacientes.

En primer lugar, se realizó una primera búsqueda en los archivos radiográficos informatizados de los pacientes tratados con endodoncias en los diez años anteriores al estudio.

En segundo lugar se realizó una segunda búsqueda de los pacientes que habían acudido a la consulta presentando los criterios de inclusión en los seis meses anteriores a la recogida de datos de este estudio.

A continuación se cruzaron ambas listas y se obtuvieron los datos correspondientes a los casos denominados fracasos.

Para recoger los casos éxito se realizó una búsqueda informática inicial en la base de datos de las endodoncias realizadas como máximo en los últimos diez años. Dicha lista se cruzó con los pacientes que habían acudido a la consulta durante el tiempo de recogida de datos y los seis meses anteriores y que cumplían los criterios de inclusión necesarios para considerarse exitosos.

2. Historia clínica

En primer lugar se explicó al paciente el objetivo de este estudio y se pidió su colaboración para formar parte del mismo. En caso de acceder a que sus datos clínicos fueran tratados para este estudio se firmó un consentimiento informado siguiendo las directrices de la declaración de Helsinki promulgadas por la Asociación Médica Mundial (WMA).

Antes de proceder a la exploración clínica y radiológica se confirmaron todos los datos de filiación, los datos médicos generales y locales así como la información correspondiente a sus hábitos y parafunciones.

Se preguntó también sobre el motivo de la consulta, la sintomatología clínica y se comprobó el estado del diente problema para encuadrarlo en el grupo éxito o fracaso definitivamente.

Los datos recogidos se anotaron en tablas y se detallan en los Anexos I y II.

3. Exploración clínica

Se realizó una inspección y una palpación del diente problema. Además de un odontograma completo para actualizar los datos oclusales y clínicos.

En el caso de los pacientes que acudían para revisar sus endodoncias realizadas anteriormente, es decir en los casos éxito, se procedió a la exploración clínica del mismo valorando el estado de las restauraciones, anotando la restauración final del diente tratado, la existencia de caries secundarias, movilidad, cambios de coloración u otras alteraciones que pudieran indicar fracaso del tratamiento.

A continuación se realizó un estudio periodontal únicamente del diente a estudiar, utilizando una sonda periodontal calibrada de la OMS, se realizaron las mediciones periodontales en seis puntos; tres vestibulares (mesial, medio y distal) y tres linguales o palatinos (mesial, medio y distal) anotando la pérdida de inserción ósea (CAL). Dicha pérdida de inserción ósea se obtenía sumando la profundidad de bolsa obtenida al sondear con la recesión, si existía, del diente y zona de estudio. En las tablas de recogida de datos se anotaba la mayor medición obtenida.

Para finalizar se realizaba una percusión con el mango del espejo horizontal y vertical comparándola con los dientes adyacentes, los antagonistas y los opuestos en la misma arcada. Se anotaban las respuestas positivas o negativas de los pacientes además de si existía un cambio en el sonido de percusión.

En el caso de los pacientes que presentaban fracasos, se realizaron las mismas valoraciones anteriores además de revisar si existían tumoraciones, abscesos, fístulas o se evidenciaban intraoralmente fracturas coronarias.

4. Exploración radiográfica.

Tras realizar una primera exploración clínica se procedió a la realización de radiografías periapicales con anillos posicionadores mediante la técnica de paralelización.

Una vez reveladas en el mismo momento se procedió al estudio de las mismas utilizando un negoscopio de pared, revisándose de la siguiente manera:

- Las radiografías periapicales eran estudiadas únicamente por el examinador.
- Se veían en un negoscopio de pared con luz ambiente y siempre en el mismo lugar.
- La inspección se realizó sin ningún tipo de instrumento de aumento.
- Se valoraban de mesial a distal y de coronal a apical observando tanto la anatomía general de la corona y la raíz como la aparición de alteraciones u patologías. Se valoraron todos los parámetros contemplados en el ANEXO II.
- Se analizaron las radiografías siempre en el mismo orden y se anotaron los datos inmediatamente antes de pasar al siguiente paciente.

Dichas radiografías fueron incorporadas a la historia clínica del paciente.

Las placas control de los casos de éxito fueron comparadas con las radiografías finales de las endodoncias realizadas, valorando la integridad del ligamento periodontal, la ausencia de lesión periodontal detectable radiográficamente y la integridad radiológica de las restauraciones coronales.

En los casos de fracaso, se valoraba la aparición de radiotransparencias periapicales patológicas que comparadas con las radiografías finales de las endodoncias hubiesen aparecido o hubiesen aumentado. Además, se buscaban posibles fracturas radiculares visibles radiográficamente o la aparición de lesiones patognomónicas de fisura radicular.

A partir de las exploraciones clínicas y radiológicas se completaron el total de variables de estudio y se confeccionaron tablas Excel con los datos recogidos sin ninguna modificación, posteriormente las **variables de estudio** fueron codificadas en las siguientes categorías:

1. **Sexo.** Se recogieron inicialmente los nombres de los pacientes a los que posteriormente se les asignó un número de caso. El sexo femenino se codificó mediante un 0 y el sexo masculino mediante un 1. Este dato únicamente fue utilizado para conocer el tipo de muestra de estudio, no se utilizó para realizar test estadísticos pero si se tuvo en cuenta para la confección del sistema CBR.

2. **Hábitos y parafunciones.** En esta variable se estudió la existencia de hábitos patológicos alimenticios o laborales que pudiera presentar al paciente y/o la existencia de bruxismo tanto tratado como sin tratamiento. Se asignó el número 0 cuando no había ninguna situación anómala diagnosticada y un 1 cuando se había diagnosticado principalmente el paciente como paciente bruxista.

3. **Patología general.** Con el número 0 se clasificaron los pacientes que no presentaban ningún tipo de patología sistémica y con el número 1 los pacientes que presentaban diagnóstico de alguna patología sistémica con o sin tratamiento.

4. **Tratamientos médicos actuales.** En este punto se anotaron todas las medicaciones habituales de los pacientes, en caso de existir medicación habitual se asignó un número 1. En caso negativo fue asignado el número 0.

5. **Alergias.** Se contemplaron como positivas las alergias a medicamentos diagnosticadas correctamente asignándoles el número 1 en principio se anotaron todas las alergias existentes pero sólo fueron consideradas finalmente las medicamentosas. En caso negativo correspondía el número 0.

6. **Tiempo desde la endodoncia.** Se anotaron dos fechas de todos los pacientes, en primer lugar la fecha con formato día, mes y año de las endodoncias realizadas a cada paciente. En el caso de los casos éxito se anotó como segunda fecha el último día de la recogida de datos de este estudio (03/03/2013) momento en el que dejaron de ser monitorizados. En los casos fracaso se anotó como segunda

fecha el día en que se realizó la exodoncia del diente tratado previamente con endodoncia y que cumplía con todos los criterios de inclusión del estudio.

A continuación se calcularon los días que existían entre ambas fechas y se codificaron los datos en tres categorías asignándoles valores del 0 al 2. Esta codificación únicamente fue llevada a cabo y considerada en los casos fracaso. Se asignó el número 0 a los fracasos aparecidos antes de los 100 días posteriores a la endodoncia, el número 1 para los fracasos acontecidos entre los 100 y los 500 días posteriores al tratamiento y el número 2 para exodoncias realizadas entre 500 y 1000 días posteriores al tratamiento endodóntico.

Las categorías seleccionadas se hicieron en función de la fecha máxima y mínima que aparecía en la muestra.

7. **Sesiones empleadas para el tratamiento endodóntico.** Se asignó el número 0 a endodoncias realizadas en una única sesión y el número 1 para endodoncias realizadas en más de una sesión.

8. **Tipo de instrumentación.** Se recogieron los datos relativos al tipo de sistema de instrumentación mecánica o manual y se codificaron como 0 para la instrumentación manual y 1 para la mecánica independientemente del sistema de limas utilizado.

9. **Tipo de condensación.** Asignando el número 0 para la condensación lateral en frío y el número 1 para endodoncias obturadas utilizando sistemas de gutapercha caliente.

10. **Tipo de anestésico utilizado.** Todos los pacientes fueron anestesiados utilizando lidocaína, mepivacaína o articaína dependiendo del tratamiento y de las características del paciente. Se agruparon con el número 0 los pacientes tratados con lidocaína, con el número 1 los pacientes tratados con mepivacaína y con el número 2 los pacientes tratados con articaína.

11. **Grado de dificultad del tratamiento endodóntico** siguiendo las consideraciones de la Asociación Americana de Endodoncia (AAE). De cada paciente se completó una tabla de la AAE (Anexo III). En dichas tablas se deben ir colocando cruces en columnas atendiendo a las características del tratamiento, de la anatomía radicular y de las características coronarias. En función de donde se localicen el mayor número de cruces se obtiene una clasificación de bajo riesgo, riesgo moderado o alto riesgo. Asignamos a los tratamientos considerados como de bajo riesgo el número 0, a los de riesgo o dificultad moderada el número 1 y a los de alta dificultad el número 2.

12. **Localización del diente en la arcada.** Se anotaron inicialmente siguiendo la nomenclatura de la FDI los números de los dientes tratados y posteriormente se clasificaron. Se asignó 0 a los dientes anteriores hasta premolares incluidos tanto

superiores como inferiores. Se asignó 1 a los molares inferiores y el número 2 a los molares superiores.

13. **Características anatómicas de la corona** previas al tratamiento de conductos, es decir los motivos que indicaron el tratamiento. se clasificaron en tres grupos en función del tipo predominante de alteración. Se asignó 0 a los tratamientos endodónticos realizados por motivos protésicos, 1 a los tratamientos de conductos realizados por existencia de caries secundarias en grandes reconstrucciones, coronas, puentes u obturaciones cercanas a pulpa con sintomatología; y 2 a las endodoncias realizadas sobre dientes con grandes caries y afectación pulpar o fracturados.

14. **Características radiculares** valoradas en las radiografías de diagnóstico realizadas. Se anotaban las posibles alteraciones radiculares y se agruparon en 3 categorías. Para las raíces consideradas rectas con menos de 30 ° de curvatura se asignó el número 0; para las raíces que en la radiografía inicial de diagnóstico se consideraron curvas se asignó el número 1 y para el resto de posibles anomalías como bifurcaciones, conductos calcificados, dobles curvaturas.... Se asignó el número 2.

15. **Existencia de anomalías congénitas.** Se consideró como 0 la no existencia y como 1 la existencia de cualquier tipo de anomalía congénita existente.

16. **Tipo de reconstrucción coronaria post-endodoncia.** Se organizaron los tratamientos en función de 3 categorías. En la primera codificada con el número 0 se colocaron todos los dientes reconstruidos únicamente con una resina compuesta o una amalgama de plata sin ningún tipo de retención intrarradicular ni extracoronaria. En la segunda, codificada con el número 1, se colocaron los dientes reconstruidos utilizando pernos o bien fueron portadores de coronas o de puentes. Y en el tercer grupo codificadas con el número 2 se colocaron los dientes no reconstruidos.

17. **Poste.** Esta variable recoge más exhaustivamente la existencia o no de pernos en las raíces endodoncias colocándose un 0 en restauraciones sin perno y un 1 en restauraciones con perno independientemente del tipo.

18. **Tipo de poste.** Se asignó un 0 a los tratamientos realizados colocando pernos no colados (pernos de fibra de vidrio únicamente) y un 1 a los pernos colados colocados en los dientes endodonciados.

19. **Tiempo endodoncia-restauración.** Se anotaron con un 0 los dientes restaurados antes de los 15 días posteriores al tratamiento de conductos, con un 1 los dientes restaurados entre 15 y 30 días después de la endodoncia, un 2 a los dientes restaurados pasados los 30 días desde el tratamiento y un 3 para los dientes no restaurados.

20. **Número de raíces** encontradas radiológicamente y las esperables anatómicamente. Se asignó el número 0 a los dientes unirradiculares, el número 1 a los dientes birradiculares y el número 2 a los multirradiculares.

21. **Diámetro de los conductos** tratados endodónticamente. En función de la lima maestra apical con la que el especialista calibró el ápice de cada conducto durante el tratamiento y con la que obturó el conducto, se eligió el conducto de mayor diámetro tratado para clasificar los dientes en 4 categorías. 0 para los conductos con diámetros inferiores a 25, 1 para los conductos con un diámetro apical entre 30 y 35, 2 para los conductos radiculares con un diámetro entre 40 y 45 y 3 para los conductos con un diámetro mayor de 50.

22. **Longitud del conducto tratado.** Medido por el especialista con un localizador eléctrico de ápice de cuarta generación y comprobado radiológicamente mediante la radiografía de conductometría. Se realizaron 3 grupos registrando el conducto con mayor longitud de todos los tratados. En el grupo 0 se colocaron los conductos cuya longitud no superase los 20 mm, en el grupo 1 los que tenían una longitud comprendida entre los 20 y los 22 y en el grupo 2 los mayores de 23 mm.

23. **Número de conductos encontrados** en cada diente tratado, se asignó el número 0 para dientes donde solo se encontró un conducto, el número 1 para dientes donde se encontraron 2 conductos, 2 para dientes donde se encontraron 3

conductos y 3 para dientes donde se encontraron 4 o más conductos y se trataron.

24. **Morfología radicular post-endodoncia.** Se asignó el número 0 a tratamientos de conductos donde el endodoncista no encontró anatomías complicadas o alteradas y el número 1 en tratamientos donde se hallaron morfologías radiculares no habituales y detectadas durante el tratamiento.
25. **Curvatura radicular post-endodoncia.** Se estableció como 0 los conductos que una vez tratados no fueron considerados como curvos por el especialista y como 1 los que presentaban curvaturas del grado que fuesen.
26. **Grado de curvatura,** atendiendo a la clasificación de la AAE se establecieron 3 categorías para la curvatura radicular post endodoncia determinadas por el especialista. En el grupo 0 se anotaron los dientes que no presentaban ningún tipo de curvatura, en el grupo 1 los dientes que presentaban una curvatura mayor de 30 ° y en el grupo 2 los dientes con dobles curvaturas o curvas de menos de 30 °.
27. **Nivel óseo,** medición de la pérdida de inserción ósea. Se realizaron las mediciones periodontales en seis puntos; tres vestibulares (mesial, medio y distal) y tres linguales o palatinos (mesial, medio y distal) anotando la pérdida de inserción ósea (CAL). Dicha pérdida de inserción ósea se obtenía sumando la profundidad de bolsa obtenida al sondear con la recesión, si existía, del diente y zona de estudio. Se clasificaron en 3 categorías, 0 para los dientes con CAL de 0

mm, 1 para los dientes con CAL de menos de 3 mm y 2 para los dientes con un CAL de más de 3 mm.

28. **Tiempo hasta el fracaso**, recogido únicamente en los casos fracaso. Se anotaron los días hasta el momento en que el paciente acudió a consulta presentando signos y síntomas que indicaban fracaso del tratamiento por los motivos del estudio. En algunas ocasiones coincidía con el tiempo hasta la exodoncia pero en otros muchos casos en esta primera consulta se diagnosticaba el fracaso endodóntico y se ponían si eran necesarios tratamientos farmacológicos para realizar la extracción. Con 0 se anotaron los fracasos que acontecieron en menos de 1 mes, con 1 los fracasos aparecidos en entre un mes y un año y con 2 los fracasos que aparecieron después de un año.
29. **Oclusión estable**. Mediante la valoración de las radiografías panorámicas de todos los pacientes, se anotaron las pérdidas dentarias en el momento de la endodoncia, sin contar los cordales. Los grupos fueron 0 para ausencias por cualquier motivo de menos de dos dientes, 1 para ausencias de 2 a 6 dientes y 2 para ausencias de más de 6 dientes.
30. **Adyacentes remanentes**. Para establecer una clasificación más concreta de la oclusión se valoró si las pérdidas dentarias de los pacientes eran cerca del diente a tratar y se agruparon en función de los adyacentes como. 0 para existencia de ambos dientes adyacentes, 1 para ausencia del diente anterior, 2 para ausencia del diente posterior y 3 para ausencia de los dos adyacentes, diente aislado.

A partir de los datos descritos se realizó un estudio de las causas de éxito y fracaso en el tratamiento de las endodoncias y se elaboró un sistema de predicción sobre los tratamientos llevados a cabo sobre los pacientes. El sistema de predicción se realizó por medio de un sistema CBR que integró redes bayesianas sobre las que se aplicaron técnicas de bagging y boosting durante la etapa de reutilización. El análisis de las causas realizado mediante un test estadístico, facilitó el análisis de predicciones automáticas realizadas por un sistema CBR por parte de un experto.

El análisis de los datos y la definición del sistema de predicción se realizaron de modo progresivo. En una primera etapa se realizó un preprocesado de los datos que consistió en un análisis de los datos disponibles para realizar las recodificaciones de las variables para así permitir un resultado final óptimo. Posteriormente, se realizó una comparativa de rendimiento del sistema de predicción basado en un CBR modificando las técnicas aplicadas durante la fase de adaptación.

Como primer paso, previo análisis de los datos se determinaron las características de las variables. La observación directa de las variables es de importancia para determinar las características del problema que se pretende analizar y determinar posibles problemas en los datos de los que se dispone. Mediante la observación directa de las variables es posible determinar errores tipográficos que implicarían la aparición de diferentes categorías con frecuencias bajas. Además, es necesario evitar la existencia

de un número alto de categorías por variables para que la aplicación de test estadísticos sea más significativos.

Inicialmente determinadas variables poseían un número de categorías muy alto por lo que se procedió a realizar una recodificación de las mismas para conseguir que el número de categorías finales por variable estuviera entorno a 3 ó 4 valores diferentes. En el caso de las variables continuas se crearon los intervalos aplicando la técnica de los percentiles para permitir distribuir el mismo número de elementos por intervalo.

Una vez realizado un análisis visual de los datos se procedió a realizar un análisis de dependencia de la variable, se estudió el éxito o el fracaso del tratamiento con el resto de las variables. En caso de obtener resultados negativos significaría que muy posiblemente no sería posible realizar un sistema de predicción si no se determinaran dependencias de la variable en estudio con el resto. Para llevar a cabo este análisis se procedió a realizar un análisis estadístico de dependencia mediante un test de la ji cuadrado. Hay que tener en cuenta que para que los resultados que las frecuencias esperadas son menores que 5 el resultados puede no ser correcto por lo que se aplica un corrección por Yates para intentar mitigar este aspecto. Además, se proporcionan también los resultados estadísticos de la ji cuadrado aplicando la simulación de Monte Carlo para verificar los resultados. Finalmente también se aplica un test exacto de Fisher que sería el método recomendado cuando el tamaño de la muestra sea pequeño y no se permita asegurar que el 80% de los datos de una tabla de contingencia tengan un valor superior a 5.

Una vez realizado un estudio sobre la relevancia de las variables seleccionadas se procedió a realizar un estudio sobre la funcionalidad del sistema CBR. Durante la fase de recuperación se procedió a realizar una selección de los casos de interés en el caso de estudio, en este caso se corresponden los casos para los que se ha aplicado tratamiento.

Posteriormente se realizó un estudio de las capacidades de predicción de diferentes técnicas a integrar en el sistema CBR. Se realizó un test aplicando las técnicas BayesNet, NaiveBayes, AdaBoostM1, Bagging, DecisionStump, J48, IBK, JRip, LMT, Logistic, LogitBoost, OneR, SMO, Stacking durante la fase de reutilización. Para posteriormente realizar las predicciones del CBR de todos los casos del estudio.

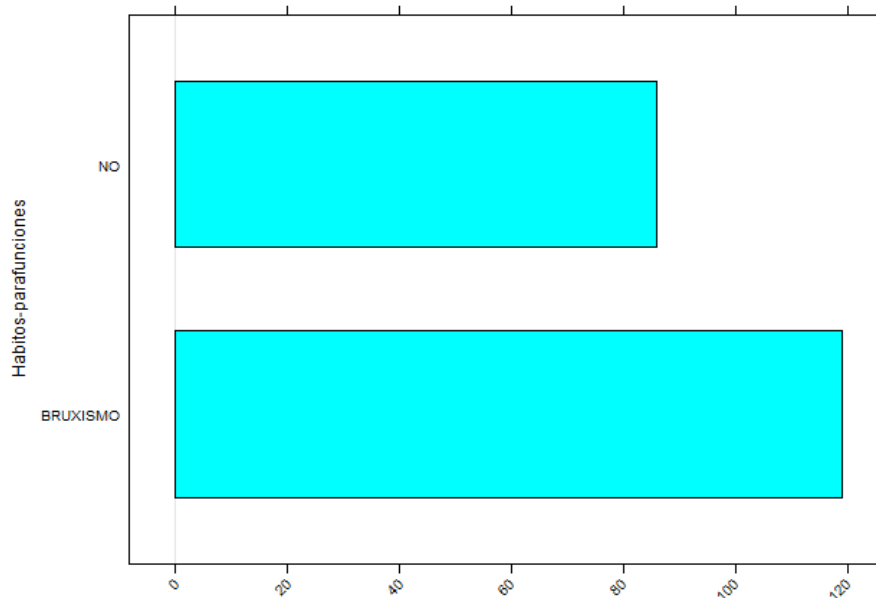
Resultados

Los resultados obtenidos se dividieron en los obtenidos a partir de la estadística clásica y los obtenidos por la Inteligencia Artificial, la predicción dada por los sistemas CBR.

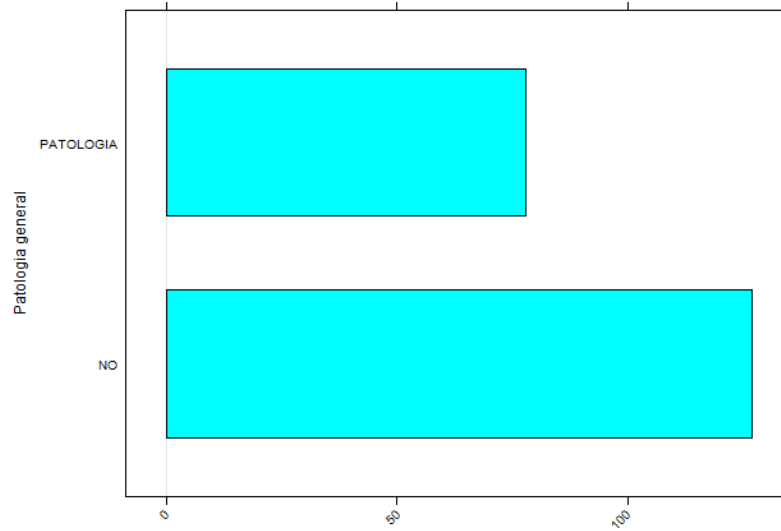
➤ RESULTADOS ESTADÍSTICA INFERENCIAL

En las siguientes figuras se analiza la frecuencia de las diferentes categorías para cada una de las variables. De forma muy rápida se pudo realizar una verificación de las variables y comprobar que no es necesario realizar nuevas recodificaciones de las variables ya que el número de categorías no es muy elevado para el número de datos de los que se dispone.

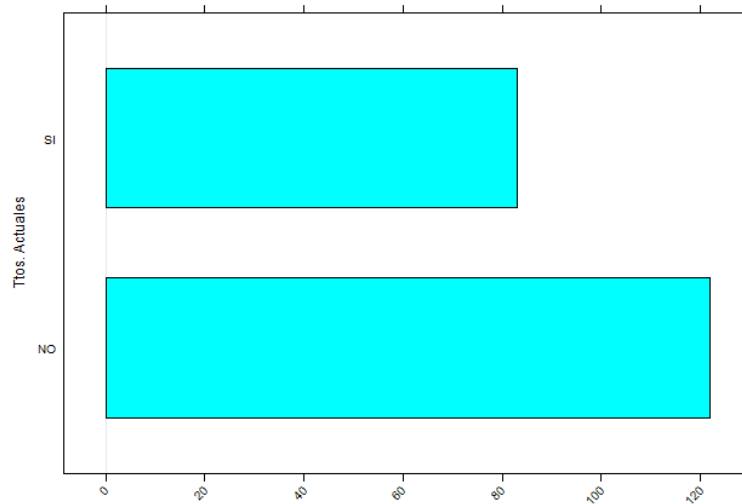
En el ANEXO IV, se agrupan todas las tablas de contingencia correspondientes al total de las variables estudiadas, a continuación se expone una pequeña muestra.



Gráfica 1: análisis de frecuencia para la variable parafunciones



Gráfica 2: análisis de frecuencia para la variable patología sistémica general



Gráfica 1: análisis de frecuencia para la variable tratamientos farmacológicos actuales

A continuación se aplicaron un test de Chi Cuadrado y un test exacto de Fisher. Para ambos test la hipótesis nula es H_0 : Las variables son independientes. La siguiente Tabla representa el análisis de relevancia de las variables donde se han representado en rojo los valores que son inferiores a la significación 0.05. Tal y como se puede ver, los resultados son muy similares para los diferentes test aplicados. Las

variables asociadas a los valores serán las que permitan realizar una clasificación correcta, lo importante es determinar cómo se pueden combinar las variables para poder predecir el resultado final.

<u>Variable</u>	<u>P valor</u>		
	Ji Cuadrado		Test Exacto de Fisher
	Yates	Monte Carlo	
Ttos. Actuales	0,09369954	0,07246377	0,06096952
Sesiones	0,72871346	0,66466767	0,65413043
Instr. MECANICA/manual	0,0035934	0,001999	0,0029985
Conde. Lateral o vertical	0,10724901	0,07696152	0,07838901
Valoracion grado dificultad (AAE)	2,33E-06	0,00049975	0,00049975
Diente n	0,00465514	0,00649675	0,00449775
Caract. Anatomicas de la corona	0,39990869	0,3988006	0,40229885
Caract. Anatomicas radiculares	3,39E-07	0,00049975	0,00049975
Anomalias	0,2472907	0,2143928	0,21532318
Tipo de restauracion coronal	6,28E-06	0,00049975	0,00049975
Perno	0,00017239	0,00049975	9,61E-05
Tipo	0,00537458	0,003998	0,00385604
Tiempo endodoncia-restauracion	3,74E-07	0,00049975	0,00049975
N raíces	0,18893675	0,2033983	0,17591205
Diámetro	0,67325003	0,67166417	0,66216892
Longitud	0,00601985	0,00549725	0,00549725

N conductos	0,02352122	0,02598701	0,02198901
Morfología radicular:	0,39500505	0,37281359	0,3695852
curvaturas si/no	0,02317278	0,02998501	0,02240645
Grado	0,05465845	0,06896552	0,05897051
Nivel oseo	0,27688851	0,26536732	0,26686657
oclusión estable	0,47155002	0,43928036	0,46626687
adyacentes remanentes	0,00109389	0,0029985	0,00149925

Tabla 2: análisis de relevancia de las variables

Los test estadísticos aplicados encuentran las siguientes **variables estadísticamente significativas** y por tanto influyentes en los fracasos endodónticos por fracturas radiculares.

- a. Tipo de instrumentación. Mecánica o manual.
- b. Grado de dificultad según la AAE.
- c. Localización del diente tratado.
- d. Características radiculares.
- e. Tipo de restauración coronal.
- f. Existencia de perno.
- g. Tipo de poste utilizado.
- h. Tiempo desde la endodoncia hasta la reconstrucción.
- i. Longitud de los conductos tratados.
- j. Número de conductos encontrados.
- k. Existencia de curvaturas radiculares.
- l. Remanentes adyacentes.

➤ **RESULTADOS INTELIGENCIA ARTIFICIAL. CBR**

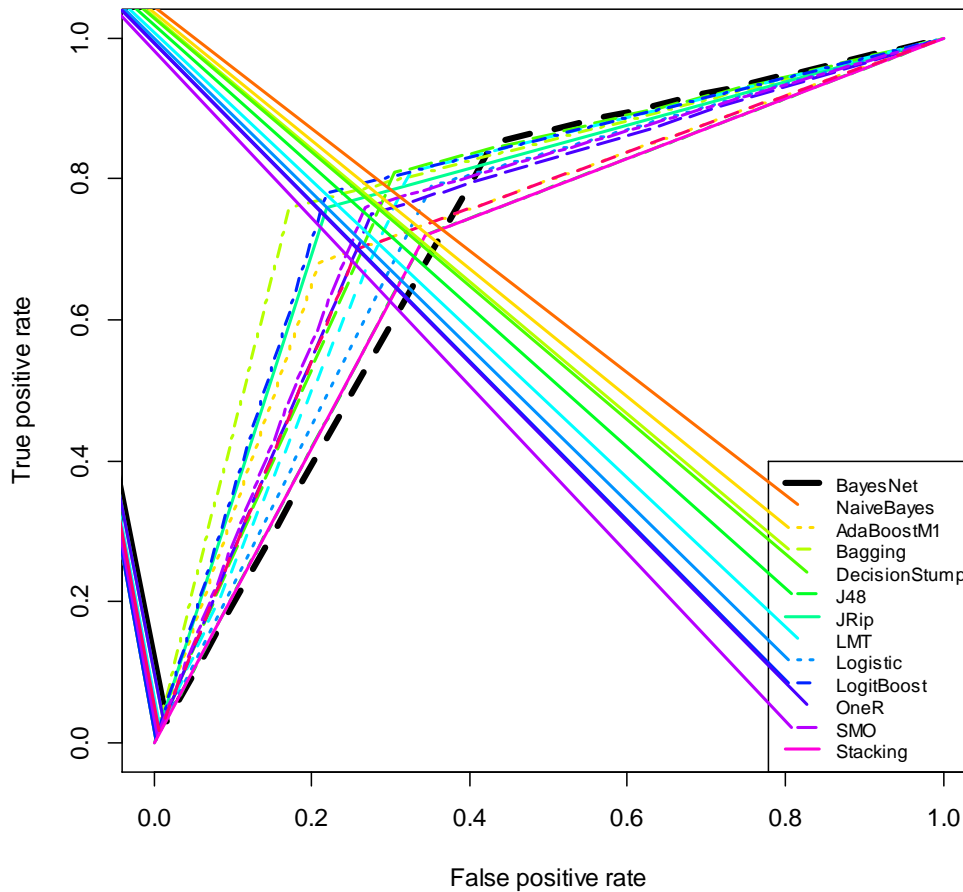
Tras realizar un test estadístico clásico se realiza la creación del sistema CBR utilizando todos los métodos de implementación adecuados al tipo de variables. En la siguiente tabla se muestra el número de aciertos obtenido para cada uno de los métodos aplicando la técnica de leave one out sobre el sistema CBR. La tasa de acierto del sistema fue del 89%.

BayesNet	145	NaiveBayes	151	AdaBoostM1	163	Bagging	154	DecisionStump	141	J48	158	IBK	152
JRip	147	LMT	160	Logistic	151	LogitBoost	153	OneR	141	SMO	148	Stacking	105

Tabla 3: tasa de acierto de los diferentes clasificadores

En base a los resultados anteriores se procedió a realizar una representación mediante **curvas ROC**. Las curvas de ROC facilitan el análisis de diferentes clasificadores en función del área que representan bajo la curva. Cuanto mayor sea el área mejor es el clasificador. Tienen como principal ventaja que permiten diferenciar la relevancia de los falsos negativos frente a los falsos positivos. En este caso, se interpreta como positivo un éxito en el tratamiento ya que lo que se quiere evitar es determinar fracaso cuando no lo es. En la siguiente figura se muestra la curva ROC para cada uno de los métodos con el resultado final obtenido, tal y

como se puede ver, el resultado para la red bayesiana ha sido satisfactorio ya que el área bajo la curva es alta y no se presentan falsos negativos (no se predicen exodoncias para casos de éxito).



Gráfica 4: curvas ROC para los diferentes clasificadores

Para analizar en detalle los resultados, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los procedimientos aplicando el sistema CBR con diferentes técnicas durante la fase de reutilización. Los valores mostrados indican la probabilidad de éxito. Cuanto más cercano sea el número

obtenido a 1 más probabilidades de éxito tendrá el caso, cuanto más cercano sea el valor a 0 más riesgo de fracaso existe para este paciente en función de las variables introducidas. A continuación se muestran las respuestas dadas a los 205 casos de estudio por el CBR, en base a las curvas ROC la red Bayesiana es la que mayor poder predictivo ofrece y por tanto los valores que más se deben tener en cuenta. En la columna final se indican las soluciones reales a todos los casos.

Tipos de clasificadores estudiados:

- 1.** BayesNet
- 2.** Naive Baves
- 3.** AdaBost M1
- 4.** Bagging
- 5.** Decision Stump
- 6.** J48
- 7.** IBk
- 8.** Jrip
- 9.** LMT
- 10.** Logistic
- 11.** Logit Boost
- 12.** OneR
- 13.** SMO
- 14.** Stacking

Tabla 4: Predicción de cada uno de los casos en función de los diferentes clasificadores

CASO	TIPO DE CLASIFICADOR														RESPUESTA INICIAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	0,182	0,008	0,065	0,191	0,295	0,083	0,005	0,132	0,001	0,001	0,046	0	0	0,493	0
2	0,182	0,005	0,028	0,105	0,295	0,083	0,005	0,132	0,000	0,011	0,018	0	0	0,493	0
3	0,182	0,056	0,075	0,092	0,295	0,083	0,005	0,132	0,005	0,126	0,043	0	0	0,493	0
4	0,166	0,033	0,166	0,217	0,295	0,089	0,005	0,132	0,034	0,010	0,165	0	0	0,493	0
5	0,182	0,047	0,075	0,097	0,295	0,083	0,005	0,132	0,036	0,013	0,043	0	0	0,493	0
6	0,182	0,004	0,028	0,197	0,295	0,083	0,005	0,132	0,001	0,000	0,018	0	0	0,493	0
7	0,234	0,005	0,038	0,348	0,295	0,083	0,005	0,132	0,026	0,003	0,020	0	0	0,493	0
8	0,182	0,256	0,166	0,223	0,295	0,083	0,995	0,132	0,003	0,045	0,285	0	0	0,493	0
9	0,182	0,009	0,028	0,109	0,295	0,083	0,005	0,132	0,001	0,000	0,018	0	0	0,493	0
10	0,182	0,108	0,075	0,113	0,295	0,083	0,005	0,132	0,001	0,003	0,043	0	0	0,493	0
11	0,481	0,439	0,166	0,317	0,295	0,083	0,995	0,132	0,038	0,079	0,190	0	0	0,493	0
12	0,928	0,998	0,922	0,795	0,673	1,000	0,995	0,643	0,891	0,947	0,947	1	1	0,493	0
13	0,597	0,642	0,281	0,232	0,673	0,000	0,005	0,633	0,054	0,164	0,337	1	0	0,493	0
14	0,495	0,867	0,217	0,506	0,295	1,000	0,995	0,824	0,889	0,518	0,136	0	1	0,493	0
15	0,786	0,932	0,609	0,773	0,295	1,000	0,995	0,742	0,210	0,413	0,713	0	1	0,493	0
16	0,182	0,125	0,075	0,103	0,295	0,083	0,005	0,081	0,062	0,138	0,127	0	0	0,493	0
17	0,182	0,052	0,075	0,130	0,295	0,083	0,995	0,077	0,335	0,117	0,091	0	0	0,493	0
18	0,518	0,213	0,274	0,273	0,673	0,000	0,005	0,077	0,626	0,546	0,254	1	0	0,493	0
19	0,928	0,521	0,782	0,505	0,673	0,000	0,995	0,884	0,842	0,544	0,749	1	0	0,493	0
20	0,817	0,247	0,453	0,609	0,673	0,000	0,005	0,884	0,598	0,257	0,230	1	0	0,493	0
21	0,817	0,420	0,516	0,742	0,673	0,000	0,995	0,880	0,154	0,924	0,668	1	1	0,493	0
22	0,518	0,094	0,274	0,210	0,673	0,000	0,002	0,144	0,003	0,227	0,254	1	0	0,493	0
23	0,518	0,168	0,274	0,252	0,673	0,100	0,995	0,144	0,086	0,240	0,297	1	0	0,493	0
24	0,518	0,008	0,124	0,171	0,673	0,000	0,005	0,144	0,002	0,021	0,077	1	0	0,493	0
25	0,182	0,004	0,075	0,129	0,295	0,083	0,005	0,149	0,000	0,000	0,043	0	0	0,493	0
26	0,518	0,192	0,274	0,524	0,673	0,333	0,005	0,144	0,000	0,038	0,318	1	0	0,493	0
27	0,518	0,707	0,481	0,758	0,673	0,947	0,995	0,778	0,961	0,337	0,558	1	0	0,493	0
28	0,755	0,916	0,476	0,577	0,673	0,333	0,995	0,643	0,996	0,743	0,649	1	1	0,493	0
29	0,182	0,010	0,075	0,159	0,295	0,083	0,005	0,184	0,000	0,001	0,084	0	0	0,493	0

Resultados

30	0,182	0,004	0,065	0,194	0,295	0,083	0,005	0,184	0,000	0,000	0,097	0	0	0,493	0
31	0,518	0,066	0,274	0,297	0,673	0,000	0,005	0,184	0,115	0,190	0,254	1	0	0,493	0
32	0,597	0,083	0,137	0,321	0,673	0,091	0,005	0,149	0,188	0,744	0,163	1	1	0,493	0
33	0,234	0,029	0,096	0,171	0,295	0,083	0,005	0,149	0,056	0,011	0,100	0	0	0,493	0
34	0,518	0,187	0,274	0,400	0,673	1,000	0,995	0,184	0,320	0,504	0,318	1	1	0,493	0
35	0,179	0,013	0,077	0,218	0,292	0,294	0,005	0,130	0,012	0,014	0,136	0	0	0,490	0
36	0,182	0,008	0,070	0,113	0,295	0,083	0,005	0,184	0,000	0,011	0,096	0	0	0,493	0
37	0,518	0,548	0,481	0,463	0,673	0,167	0,005	0,633	0,297	0,125	0,558	1	0	0,493	0
38	0,182	0,059	0,175	0,130	0,295	0,083	0,005	0,094	0,041	0,141	0,210	0	0	0,493	0
39	0,562	0,448	0,705	0,767	0,295	0,867	0,995	0,742	0,697	0,888	0,677	0	1	0,493	0
40	0,234	0,105	0,108	0,201	0,295	0,083	0,995	0,099	0,402	0,913	0,099	0	1	0,493	0
41	0,182	0,010	0,070	0,192	0,295	0,083	0,005	0,194	0,019	0,060	0,096	0	0	0,493	0
42	0,623	0,889	0,486	0,510	0,673	1,000	0,995	0,758	1,000	0,808	0,724	1	1	0,493	0
43	0,182	0,026	0,175	0,206	0,295	0,083	0,005	0,116	0,105	0,025	0,096	0	0	0,493	0
44	0,518	0,733	0,481	0,595	0,673	0,167	0,998	0,733	0,445	0,504	0,558	1	0	0,493	0
45	0,518	0,398	0,481	0,651	0,673	0,947	0,005	0,800	0,530	0,335	0,558	1	0	0,493	0
46	0,389	0,479	0,593	0,285	0,295	0,083	0,005	0,116	0,099	0,107	0,738	0	0	0,493	0
47	0,518	0,575	0,723	0,763	0,673	0,882	0,995	0,880	0,672	0,896	0,774	1	1	0,493	0
48	0,562	0,948	0,804	0,667	0,295	1,000	0,995	0,742	0,999	0,959	0,821	0	1	0,493	0
49	0,182	0,003	0,175	0,125	0,295	0,083	0,005	0,103	0,009	0,011	0,096	0	0	0,493	0
50	0,518	0,493	0,481	0,696	0,673	0,167	0,005	0,143	0,123	0,242	0,558	1	0	0,493	0
51	0,481	0,098	0,175	0,135	0,295	0,083	0,005	0,132	0,108	0,067	0,368	0	0	0,493	0
52	0,597	0,234	0,271	0,440	0,673	1,000	0,005	0,714	0,211	0,184	0,205	1	0	0,493	0
53	0,182	0,014	0,070	0,117	0,295	0,083	0,005	0,132	0,008	0,008	0,096	0	0	0,493	0
54	0,481	0,050	0,075	0,126	0,295	0,083	0,005	0,132	0,102	0,006	0,179	0	0	0,493	0
55	0,817	0,222	0,483	0,589	0,673	0,833	0,995	0,880	0,479	0,275	0,754	1	0	0,493	0
56	0,234	0,072	0,108	0,134	0,295	0,083	0,995	0,115	0,046	0,269	0,099	0	0	0,493	0
57	0,597	0,144	0,126	0,275	0,673	0,000	0,005	0,093	0,000	0,587	0,333	1	1	0,493	0
58	0,182	0,025	0,075	0,187	0,295	0,083	0,500	0,126	0,002	0,013	0,039	0	0	0,493	0
59	0,481	0,107	0,175	0,134	0,295	0,083	0,005	0,126	0,004	0,050	0,349	0	0	0,493	0
60	0,389	0,971	0,691	0,752	0,295	0,750	0,995	0,667	0,992	0,860	0,529	0	1	0,493	0
61	0,481	0,409	0,175	0,134	0,295	0,083	0,995	0,099	0,000	0,113	0,187	0	0	0,493	0
62	0,182	0,007	0,344	0,284	0,295	0,083	0,005	0,132	0,138	0,850	0,297	0	1	0,493	0
63	0,182	0,003	0,070	0,116	0,295	0,083	0,005	0,099	0,000	0,009	0,096	0	0	0,493	0
64	0,182	0,002	0,075	0,169	0,295	0,083	0,005	0,132	0,086	0,029	0,039	0	0	0,493	0

Resultados

65	0,842	0,089	0,465	0,771	0,295	0,929	0,005	0,933	0,999	0,339	0,407	0	0	0,493	0
66	0,481	0,055	0,075	0,131	0,295	0,083	0,005	0,091	0,007	0,135	0,080	0	0	0,493	0
67	0,182	0,059	0,156	0,187	0,295	0,083	0,005	0,091	0,636	0,173	0,297	0	0	0,493	0
68	0,182	0,306	0,214	0,247	0,295	0,083	0,005	0,156	0,149	0,098	0,257	0	0	0,493	0
69	0,518	0,209	0,274	0,338	0,673	0,100	0,005	0,673	0,105	0,236	0,318	1	0	0,493	0
70	0,481	0,178	0,075	0,115	0,295	0,083	0,005	0,099	0,190	0,227	0,179	0	0	0,493	0
71	0,518	0,777	0,481	0,594	0,673	0,882	0,005	0,158	0,486	0,767	0,533	1	1	0,493	0
72	0,518	0,001	0,124	0,154	0,673	0,100	0,005	0,158	0,000	0,044	0,157	1	0	0,493	0
73	0,481	0,641	0,175	0,120	0,295	0,083	0,995	0,091	0,448	0,647	0,368	0	1	0,493	0
74	0,182	0,169	0,175	0,120	0,295	0,083	0,005	0,038	0,388	0,359	0,210	0	0	0,493	0
75	0,182	0,019	0,175	0,186	0,295	0,083	0,500	0,038	0,083	0,046	0,210	0	0	0,493	0
76	0,389	0,179	0,153	0,133	0,295	0,083	0,500	0,168	0,193	0,345	0,275	0	0	0,493	0
77	0,518	0,567	0,619	0,310	0,673	0,100	0,005	0,673	0,000	0,760	0,411	1	1	0,493	0
78	0,182	0,162	0,103	0,189	0,295	0,083	0,005	0,038	0,000	0,107	0,111	0	0	0,493	0
79	0,597	0,242	0,153	0,173	0,673	0,000	0,005	0,619	0,000	0,251	0,274	1	0	0,493	0
80	0,518	0,915	0,573	0,573	0,673	1,000	0,995	0,758	1,000	0,705	0,633	1	0	0,493	0
81	0,362	0,011	0,153	0,186	0,295	0,089	0,995	0,112	0,005	0,004	0,131	0	0	0,493	0
82	0,182	0,131	0,075	0,129	0,295	0,083	0,005	0,138	0,001	0,275	0,091	0	0	0,493	0
83	0,481	0,064	0,166	0,186	0,295	0,083	0,995	0,138	0,003	0,012	0,256	0	0	0,493	0
84	0,518	0,080	0,255	0,592	0,673	0,250	0,005	0,917	0,000	0,125	0,335	1	0	0,493	0
85	0,389	0,291	0,363	0,196	0,295	0,083	0,005	0,132	0,002	0,244	0,225	0	0	0,493	0
86	0,755	0,852	0,476	0,677	0,673	0,100	0,995	0,667	0,526	0,688	0,424	1	1	0,493	0
87	0,182	0,655	0,166	0,305	0,295	0,083	0,005	0,818	0,003	0,017	0,285	0	0	0,493	0
88	0,389	0,929	0,432	0,565	0,295	1,000	0,995	1,000	0,056	0,522	0,483	0	1	0,493	0
89	0,518	0,068	0,276	0,668	0,673	1,000	0,005	0,880	0,382	0,395	0,423	1	0	0,493	0
90	0,518	0,080	0,516	0,710	0,673	0,000	0,005	0,880	0,792	0,278	0,510	1	0	0,493	0
91	0,481	0,203	0,344	0,319	0,295	0,083	0,995	0,147	0,842	0,866	0,387	0	1	0,493	0
92	0,182	0,001	0,175	0,161	0,295	0,083	0,005	0,100	0,006	0,008	0,210	0	0	0,493	0
93	0,182	0,072	0,175	0,311	0,295	0,083	0,005	0,100	0,274	0,265	0,106	0	0	0,493	0
94	0,518	0,368	0,723	0,824	0,673	0,167	0,005	0,880	0,443	0,837	0,580	1	1	0,493	0
95	0,481	0,019	0,070	0,139	0,295	0,083	0,005	0,122	0,000	0,012	0,187	0	0	0,493	0
96	0,182	0,018	0,070	0,142	0,295	0,083	0,005	0,122	0,000	0,032	0,096	0	0	0,493	0
97	0,928	0,839	0,936	0,894	0,673	1,000	0,995	0,880	1,000	0,991	0,968	1	1	0,493	0
98	0,182	0,179	0,075	0,128	0,295	0,083	0,005	0,116	0,095	0,502	0,091	0	1	0,493	0
99	0,182	0,045	0,075	0,128	0,295	0,083	0,995	0,116	0,065	0,169	0,091	0	0	0,493	0

Resultados

100	0,842	0,600	0,705	0,746	0,295	0,929	0,995	0,742	1,000	0,837	0,879	0	1	0,493	0
101	0,842	0,006	0,705	0,605	0,295	0,867	0,995	0,742	0,071	0,014	0,773	0	0	0,493	0
102	0,842	0,354	0,363	0,514	0,295	0,857	0,995	0,742	0,885	0,493	0,843	0	0	0,493	0
103	0,842	0,015	0,465	0,598	0,295	1,000	0,005	0,742	0,002	0,049	0,616	0	0	0,493	0
104	0,562	0,050	0,642	0,401	0,295	0,000	0,005	0,742	0,929	0,602	0,705	0	1	0,493	0
105	0,389	0,486	0,593	0,353	0,295	0,083	0,005	0,116	0,282	0,389	0,673	0	1	0,493	0
106	0,515	0,147	0,405	0,530	0,284	0,250	0,995	0,710	0,327	0,223	0,386	0	0	0,488	1
107	0,171	0,034	0,270	0,198	0,284	0,067	0,005	0,136	0,030	0,002	0,079	0	0	0,488	1
108	0,455	1,000	0,605	0,373	0,284	0,000	0,995	0,800	0,972	0,997	0,839	0	1	0,488	1
109	0,811	1,000	0,839	0,595	0,284	1,000	0,995	0,800	0,881	0,998	0,935	0	1	0,488	1
110	0,515	1,000	0,932	0,643	0,284	0,000	0,995	0,103	0,906	0,998	0,884	0	1	0,488	1
111	0,455	0,347	0,293	0,312	0,284	0,750	0,995	0,800	0,286	0,622	0,375	0	0	0,488	1
112	0,515	0,079	0,405	0,611	0,284	0,750	0,995	0,710	0,094	0,139	0,198	0	0	0,488	1
113	0,502	0,950	0,887	0,785	0,664	0,857	0,995	0,860	0,900	0,980	0,914	1	1	0,488	1
114	0,502	0,820	0,887	0,536	0,664	0,857	0,995	0,860	0,781	0,789	0,822	1	1	0,488	1
115	0,811	0,596	0,638	0,625	0,284	1,000	0,995	0,800	0,693	0,340	0,824	0	0	0,488	1
116	0,803	0,939	0,757	0,625	0,664	0,182	0,995	0,860	0,896	0,971	0,894	1	1	0,488	1
117	0,811	1,000	0,680	0,642	0,284	0,750	0,995	0,842	0,840	0,986	0,554	0	1	0,488	1
118	0,803	0,996	0,887	0,899	0,664	1,000	0,995	0,860	0,906	0,977	0,797	1	1	0,488	1
119	0,515	0,135	0,405	0,773	0,284	0,750	0,500	0,842	0,295	0,107	0,190	0	0	0,488	1
120	0,955	0,133	0,838	0,870	0,664	1,000	0,995	0,860	0,422	0,355	0,748	1	0	0,488	1
121	0,803	0,959	0,887	0,695	0,664	0,000	0,995	0,860	0,811	0,900	0,901	1	1	0,488	1
122	0,188	0,520	0,344	0,724	0,284	1,000	0,005	0,842	0,053	0,461	0,314	0	0	0,488	1
123	0,811	0,975	0,839	0,771	0,284	0,857	0,995	0,842	0,840	0,967	0,860	0	1	0,488	1
124	0,838	0,919	0,812	0,847	0,664	1,000	0,998	0,757	0,954	0,989	0,961	1	1	0,488	1
125	0,955	0,940	0,927	0,799	0,664	1,000	0,005	0,710	1,000	0,930	0,905	1	1	0,488	1
126	0,838	0,391	0,491	0,863	0,664	1,000	0,995	0,860	1,000	0,893	0,700	1	1	0,488	1
127	0,502	0,901	0,749	0,560	0,664	0,857	0,995	0,144	1,000	0,994	0,801	1	1	0,488	1
128	0,502	0,970	0,887	0,755	0,664	0,857	0,995	0,860	0,816	0,948	0,914	1	1	0,488	1
129	0,838	0,628	0,771	0,918	0,664	1,000	0,995	0,860	0,903	0,978	0,890	1	1	0,488	1
130	0,171	0,514	0,270	0,182	0,284	0,067	0,749	0,101	0,000	0,676	0,192	0	1	0,488	1
131	0,838	0,196	0,771	0,843	0,664	1,000	0,995	0,860	1,000	0,843	0,777	1	1	0,488	1
132	0,188	0,106	0,543	0,619	0,284	0,400	0,005	0,710	0,179	0,309	0,676	0	0	0,488	1
133	0,803	0,991	0,749	0,641	0,664	0,667	0,998	0,600	0,485	0,741	0,897	1	1	0,488	1
134	0,838	0,130	0,491	0,854	0,664	1,000	0,995	0,860	1,000	0,765	0,571	1	1	0,488	1

Resultados

135	0,502	0,218	0,409	0,382	0,664	0,182	0,995	0,860	0,844	0,781	0,514	1	1	0,488	1
136	0,502	0,143	0,409	0,277	0,664	0,667	0,995	0,860	0,844	0,850	0,437	1	1	0,488	1
137	0,502	0,733	0,272	0,293	0,664	0,182	0,995	0,860	0,856	0,943	0,749	1	1	0,488	1
138	0,838	0,137	0,771	0,608	0,664	1,000	0,995	0,710	1,000	0,704	0,691	1	1	0,488	1
139	0,838	0,229	0,771	0,770	0,664	1,000	0,995	0,860	0,620	0,863	0,777	1	1	0,488	1
140	0,502	0,929	0,506	0,753	0,664	1,000	0,995	0,875	1,000	0,652	0,450	1	1	0,488	1
141	0,955	0,414	0,838	0,745	0,664	1,000	0,995	0,842	0,572	0,884	0,868	1	1	0,488	1
142	0,955	0,561	0,838	0,767	0,664	1,000	0,005	0,842	1,000	0,988	0,868	1	1	0,488	1
143	0,803	0,931	0,844	0,853	0,664	1,000	0,995	0,860	0,980	0,989	0,863	1	1	0,488	1
144	0,803	0,931	0,844	0,853	0,664	1,000	0,995	0,860	0,980	0,989	0,863	1	1	0,488	1
145	0,803	0,880	0,692	0,714	0,664	1,000	0,005	0,149	0,694	0,408	0,691	1	0	0,488	1
146	0,502	0,868	0,856	0,673	0,664	0,000	0,005	0,126	0,907	0,965	0,829	1	1	0,488	1
147	0,811	0,264	0,661	0,587	0,284	1,000	0,005	0,710	0,154	0,748	0,773	0	1	0,488	1
148	0,803	0,861	0,844	0,812	0,664	1,000	0,998	0,860	0,830	0,960	0,863	1	1	0,488	1
149	0,171	0,632	0,259	0,412	0,284	0,000	0,995	0,184	0,847	0,699	0,363	0	0	0,488	1
150	0,502	0,975	0,706	0,833	0,664	1,000	0,995	0,216	0,999	0,965	0,708	1	1	0,488	1
151	0,811	0,809	0,713	0,561	0,284	0,857	0,995	0,842	0,900	0,963	0,911	0	1	0,488	1
152	0,154	0,175	0,190	0,464	0,284	0,750	0,995	0,800	0,158	0,058	0,301	0	0	0,488	1
153	0,455	0,693	0,381	0,573	0,284	0,750	0,995	0,800	0,826	0,217	0,402	0	0	0,488	1
154	0,502	0,516	0,706	0,555	0,664	1,000	0,995	0,140	0,626	0,723	0,566	1	1	0,488	1
155	0,502	0,503	0,506	0,733	0,664	0,143	0,995	0,875	0,966	0,506	0,528	1	0	0,488	1
156	0,803	0,914	0,715	0,656	0,664	1,000	0,995	0,875	0,642	0,670	0,706	1	1	0,488	1
157	0,502	0,403	0,506	0,858	0,664	0,143	0,005	0,860	0,288	0,403	0,548	1	1	0,488	1
158	0,154	0,733	0,178	0,436	0,284	0,800	0,005	0,900	0,569	0,489	0,369	0	0	0,488	1
159	0,502	0,797	0,706	0,317	0,664	0,667	0,500	0,860	0,940	0,934	0,777	1	1	0,488	1
160	0,502	0,580	0,506	0,761	0,664	1,000	0,995	0,860	1,000	0,612	0,681	1	1	0,488	1
161	0,803	0,945	0,749	0,616	0,664	1,000	0,995	0,800	0,998	0,984	0,789	1	1	0,488	1
162	0,803	0,462	0,543	0,384	0,664	0,000	0,995	0,800	0,227	0,102	0,512	1	0	0,488	1
163	0,955	0,878	0,927	0,885	0,664	1,000	0,995	0,800	0,969	0,919	0,905	1	1	0,488	1
164	0,955	0,902	0,927	0,885	0,664	1,000	0,995	0,800	0,860	0,868	0,960	1	1	0,488	1
165	0,803	0,448	0,644	0,753	0,664	1,000	0,995	0,828	0,999	0,520	0,679	1	1	0,488	1
166	0,803	0,703	0,844	0,753	0,664	1,000	0,995	0,828	0,770	0,768	0,863	1	1	0,488	1
167	0,180	0,598	0,326	0,250	0,664	0,125	0,995	0,056	0,279	0,093	0,213	1	0	0,488	1
168	0,502	0,838	0,506	0,525	0,664	1,000	0,995	0,136	0,607	0,546	0,450	1	0	0,488	1
169	0,502	0,838	0,506	0,525	0,664	1,000	0,995	0,136	0,607	0,546	0,450	1	0	0,488	1

Resultados

170	0,502	0,510	0,543	0,356	0,664	0,154	0,005	0,144	0,009	0,000	0,573	1	1	0,488	1
171	0,803	0,396	0,715	0,623	0,664	1,000	0,995	0,140	0,353	0,234	0,638	1	0	0,488	1
172	0,803	0,716	0,844	0,770	0,664	1,000	0,995	0,860	0,543	0,120	0,863	1	0	0,488	1
173	0,803	0,716	0,844	0,770	0,664	1,000	0,995	0,860	0,543	0,120	0,863	1	0	0,488	1
174	0,171	0,053	0,069	0,101	0,284	0,067	0,005	0,090	0,176	0,136	0,055	0	0	0,488	1
175	0,803	0,950	0,717	0,650	0,664	0,750	0,995	0,135	0,999	0,923	0,878	1	1	0,488	1
176	0,515	0,841	0,932	0,663	0,284	0,000	0,995	0,842	0,973	0,977	0,884	0	1	0,488	1
177	0,811	0,216	0,661	0,717	0,284	0,857	0,005	0,842	0,971	0,703	0,773	0	0	0,488	1
178	0,803	0,388	0,844	0,821	0,664	1,000	0,995	0,860	0,972	0,680	0,730	1	1	0,488	1
179	0,803	0,441	0,844	0,821	0,664	1,000	0,995	0,860	0,970	0,627	0,730	1	1	0,488	1
180	0,803	0,818	0,844	0,843	0,664	1,000	0,995	0,860	0,854	0,938	0,863	1	1	0,488	1
181	0,803	0,784	0,844	0,843	0,664	1,000	0,995	0,860	0,988	0,948	0,863	1	1	0,488	1
182	0,955	0,017	0,838	0,787	0,664	1,000	0,995	0,860	0,840	0,543	0,885	1	0	0,488	1
183	0,803	0,847	0,715	0,802	0,664	1,000	0,998	0,165	0,987	0,942	0,638	1	1	0,488	1
184	0,455	0,002	0,177	0,095	0,284	0,067	0,995	0,111	0,012	0,014	0,169	0	0	0,488	1
185	0,471	0,956	0,533	0,613	0,664	0,125	0,995	0,800	0,998	0,315	0,746	1	0	0,488	1
186	0,515	0,128	0,427	0,668	0,284	0,857	0,995	0,842	0,680	0,265	0,298	0	0	0,488	1
187	0,502	0,625	0,436	0,470	0,664	0,000	0,995	0,167	0,140	0,083	0,213	1	0	0,488	1
188	0,515	0,378	0,646	0,661	0,284	0,857	0,995	0,710	0,914	0,797	0,641	0	1	0,488	1
189	0,502	0,134	0,409	0,147	0,664	0,000	0,005	0,140	0,607	0,535	0,215	1	1	0,488	1
190	0,803	0,991	0,887	0,876	0,664	1,000	0,995	0,860	0,982	0,977	0,958	1	1	0,488	1
191	0,803	0,991	0,887	0,876	0,664	1,000	0,995	0,860	0,982	0,977	0,958	1	1	0,488	1
192	0,455	0,129	0,283	0,077	0,284	0,067	0,005	0,144	0,137	0,049	0,156	0	0	0,488	1
193	0,803	0,866	0,644	0,838	0,664	1,000	0,998	0,769	0,895	0,769	0,679	1	1	0,488	1
194	0,502	0,848	0,506	0,793	0,664	1,000	0,005	0,667	0,992	0,725	0,450	1	1	0,488	1
195	0,811	0,280	0,333	0,693	0,284	0,857	0,995	0,864	0,274	0,594	0,558	0	1	0,488	1
196	0,502	0,962	0,506	0,758	0,664	1,000	0,995	1,000	0,540	0,667	0,450	1	1	0,488	1
197	0,955	0,757	0,838	0,854	0,664	1,000	0,005	0,860	1,000	0,990	0,946	1	1	0,488	1
198	0,955	0,900	0,971	0,906	0,664	1,000	0,995	0,860	1,000	0,993	0,984	1	1	0,488	1
199	0,955	0,900	0,971	0,906	0,664	1,000	0,995	0,860	1,000	0,993	0,984	1	1	0,488	1
200	0,502	0,977	0,704	0,611	0,664	1,000	0,995	0,860	0,990	0,954	0,737	1	1	0,488	1
201	0,803	0,999	0,940	0,906	0,664	1,000	0,998	0,860	0,999	0,992	0,986	1	1	0,488	1
202	0,803	0,999	0,940	0,906	0,664	1,000	0,998	0,860	0,999	0,992	0,986	1	1	0,488	1
203	0,803	0,999	0,940	0,906	0,664	1,000	0,998	0,860	0,999	0,992	0,986	1	1	0,488	1
204	0,803	0,999	0,940	0,906	0,664	1,000	0,998	0,860	0,999	0,992	0,986	1	1	0,488	1

205	0,803	0,998	0,940	0,906	0,664	1,000	0,999	0,860	0,998	0,972	0,965	1	1	0,488	1
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---	---	-------	---

Para evaluar la significación de las diferencias entre las técnicas se procedió a realizar una estimación y **validación cruzada** siguiendo el algoritmo de Dietterich 5x2 Cross-Validation Paired t-Test. El valor cinco se refiere al número de replicaciones durante el proceso de entrenamiento y el valor 2 se refiere al número de grupos en los que los datos originales se dividen. Para cada una de las técnicas el conjunto de datos global S se divide en dos grupos S_1 y S_2 como sigue: $S = S_1 \cup S_2$ y $S_1 \cap S_2 = \emptyset$ y se lleva a cabo el proceso de entrenamiento y estimación. Este proceso se repite 5 veces e incluye los siguientes pasos: el clasificador se entrena usando S_2 y entonces se usó para clasificar S_2 y S_1 . En el segundo paso se entrena usando S_1 y entonces se usó para clasificar S_1 y S_2 . Este proceso se usó para estimar el número de aciertos tabla y el área bajo la curva ROC obtenida. Las columnas representan la tasa de acierto y el área bajo la curva para S_1 , S_2 (R_i -A entrenada sin S_1) y S_1 , S_2 (R_i -B entrenada con S_2) para la repetición i . Las filas muestran los diferentes clasificadores. La columna de la media representa los valores medios para las columnas con las que no se ha hecho entrenamiento de esta forma son comprobados nuevamente los aciertos de todos los sistemas y validados los datos de predicción.

CLASIFICADOR	TIPO VALIDACIÓN CRUZADA																				MEDIA
	R1-A		R1-B		R2-A		R2-B		R3-A		R3-B		R4-A		R4-B		R5-A		R5-B		
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	
BayesNet	55	50	81	66	58	42	74	67	73	68	53	52	65	56	54	51	55	50	72	69	57,63
NaiveBayes	78	80	89	60	76	76	83	72	79	74	84	74	81	73	83	73	84	68	78	77	76,47
AdaBoostM1	84	75	86	71	80	80	87	78	85	81	87	78	85	81	83	75	86	78	89	73	80,62
Bagging	89	77	96	68	89	79	87	71	93	72	96	75	86	81	93	78	86	75	95	73	81,65
DecisionStump	68	73	70	58	65	63	74	67	73	68	66	55	65	56	71	70	69	72	72	69	66,66
J48	93	82	96	73	95	71	92	77	95	71	97	73	94	82	93	73	95	69	96	68	82,31

IBK	10 2	76	10 3	65	10 2	67	10 3	69	10 2	68	10 3	62	10 2	71	10 3	73	10 2	73	10 3	62	81,14
JRip	78	83	98	75	81	72	93	73	86	80	82	76	82	73	88	78	80	71	90	74	80,16
LMT	79	76	89	67	87	77	86	72	77	73	10 3	74	88	70	89	75	96	78	10 3	75	80,60
Logistic	79	80	10 3	66	91	75	94	73	90	79	89	79	91	70	92	77	93	79	91	71	82,14
LogitBoost	87	81	95	76	83	81	90	80	84	81	91	78	81	77	87	80	91	74	86	77	82,42
OneR	68	73	73	68	68	71	74	67	73	68	69	70	70	71	72	67	72	67	72	69	70,14
SMO	79	76	96	64	87	73	91	73	89	76	88	75	85	72	90	81	89	73	86	71	79,86
Stacking	55	50	53	47	58	42	61	44	52	53	53	52	51	54	54	51	55	50	53	47	51,20

Tabla 5: tasa de acierto aplicando validación cruzada

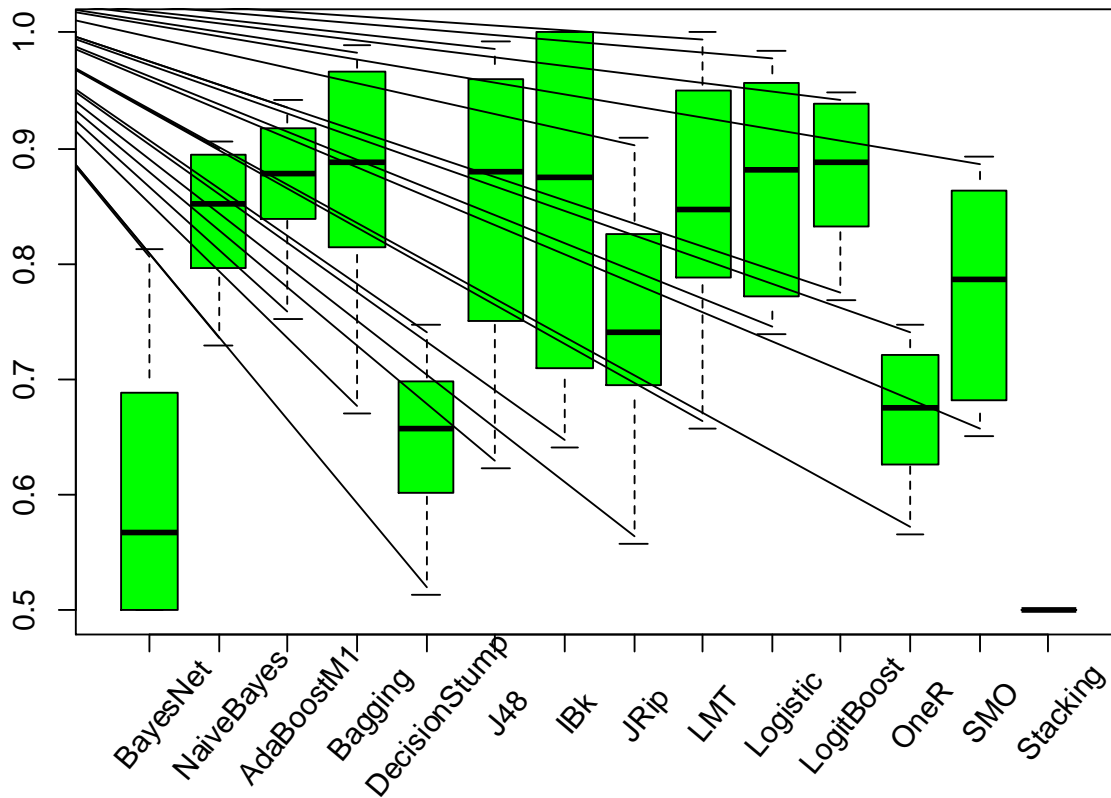
La siguiente tabla muestra los datos obtenidos durante la validación cruzada que confirman los resultados obtenidos por los distintos clasificadores en las curvas ROC.

CLASIFICADOR	VALIDACIÓN CRUZADA																				MEDIA
	R1-A		R1-B		R2-A		R2-B		R3-A		R3-B		R4-A		R4-B		R5-A		R5-B		
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
BayesNet	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,62
	70	56	75	63	66	55	50	50	71	67	66	59	68	58	72	66	72	67	60	53	
NaiveBayes	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,83
	87	86	91	76	90	83	86	74	91	72	91	82	89	75	88	81	88	76	91	82	
AdaBoostM1	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,85

	92	86	90	71	89	80	90	86	91	77	92	82	96	80	90	84	92	77	94	82	
Bagging	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,87
	91	72	96	76	98	84	96	82	99	79	96	82	96	79	95	75	96	83	99	85	
DecisionStump	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,65
	70	55	75	63	69	68	68	69	71	67	66	59	68	57	72	66	72	67	59	52	
J48	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,84
	97	78	98	61	98	66	97	74	96	78	96	75	97	78	94	68	98	75	95	69	
IBK	1,	0,	1,	0,	1,	0,	1,	0,	1,	0,	1,	0,	1,	0,	1,	0,	1,	0,	1,	0,	0,80
	00	71	00	70	00	70	00	69	00	62	00	64	00	68	00	73	00	63	00	71	
JRip	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,73
	84	74	75	63	91	65	78	74	91	72	80	71	92	67	72	66	89	73	84	75	
LMT	1,	0,	1,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,85
	00	83	00	80	93	76	89	77	96	73	00	80	90	83	88	75	93	71	93	78	
Logistic	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,84
	93	78	98	70	97	79	96	76	98	72	94	80	96	78	94	74	96	69	96	74	
LogitBoost	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,87
	93	84	95	74	93	81	94	84	95	79	94	80	96	82	92	85	94	82	95	81	
OneR	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,67
	71	60	75	63	69	68	68	69	71	67	68	63	73	58	72	66	72	67	70	66	
SMO	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,75
	86	71	86	71	85	65	88	71	89	68	85	72	88	68	82	66	87	64	82	65	
Stacking	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,50
	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	

Tabla 6: aplicación de validación cruzada con diferentes clasificadores (AUC)

Representando los valores bajo la curva ROC en un diagrama de cajas se puede ver el resultado mostrado en la figura siguiente. Podemos observar que hay varios métodos con el área bajo la curva muy similar y por tanto proporcionan resultados similares.



Gráfica 5: diagrama de cajas con el AUC para diferentes clasificadores

Para intentar comparar estadísticamente los resultados de los métodos se procede a realizar test estadísticos basados en Paired t-Test y Mann-Whitney U-test. Si el valor es menor que 0.05 indica que el área del clasificador de la fila es menor que el de la columna, para la diagonal superior es a la inversa.

La siguiente tabla muestra las diferencias estadísticas entre los clasificadores obtenidas de los test en

Paired-t.

	BayesNet	NaiveBay	AdaBoost	Bagging	DecisionS	J48	JRip	LMT	Logistic	LogitBoo	MultiBoo	OneR	SMO	Stacking
BayesNet		0	0	0	0,1 43	0	0,0 01	0	0	0	0	0,0 15	0,0 01	1
NaiveBayes	1		0,2 03	0,2 73	1	0,9 94	1	1	0,7 01	0,9 7	0,0 86	1	1	1
AdaBoostM 1	1	0,7 97		0,6 07	1	0,9 99	1	1	0,9 21	0,9 96	0,3 35	1	1	1
Bagging	1	0,7 27	0,3 93		1	0,9 98	1	1	0,8 87	0,9 95	0,2 19	1	1	1
DecisionStu mp	0, 85 7	0	0	0		0,0 01	0,0 12	0,0 03	0	0	0	0,1 54	0,0 09	1
J48	1	0,0 06	0,0 01	0,0 02	0,9 99		0,9 66	0,8 48	0,0 12	0,1 18	0	0,9 99	0,9 69	1
IBK	0, 99 9	0	0	0	0,9 88	0,0 34		0,1 64	0	0	0	0,9 71	0,4 73	1
JRip	1	0	0	0	0,9 97	0,1 52	0,8 36		0	0,0 06	0	0,9 95	0,8 4	1
LMT	1	0,2 99	0,0 79	0,1 13	1	0,9 88	1	1		0,9 42	0,0 17	1	1	1

Logistic	1	0,0 3	0,0 04	0,0 05	1	0,8 82	1	0,9 94	0,0 58		0	1	1	1
LogitBoost	1	0,9 14	0,6 65	0,7 81	1	1	1	1	0,9 83	1		1	1	1
OneR	0, 98 5	0	0	0	0,8 46	0,0 01	0,0 29	0,0 05	0	0	0		0,0 17	1
SMO	0, 99 9	0	0	0	0,9 91	0,0 31	0,5 27	0,1 6	0	0	0	0,9 83		1
Stacking	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 7: comparativa estadística de los diferentes clasificadores aplicando Paired-t

A continuación se muestran los resultados obtenidos por los clasificadores tras la aplicación de U test.

	BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStu	J48	JRip	LMT	Logistic	LogitBoost	MultiBoostA	OneR	SMO	Stacking
BayesNet		0,000	0,000	0,000	0,134	0,001	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,223	0,001	0,994
NaiveBayes	1,000		0,038	0,140	1,000	0,938	1,000	0,999	0,515	0,803	0,018	1,000	1,000	1,000
AdaBoostM1	1,000	0,968		0,824	1,000	0,997	1,000	1,000	0,955	0,997	0,573	1,000	1,000	1,000
Bagging	1,000	0,876	0,197		1,000	0,991	1,000	1,000	0,860	0,982	0,218	1,000	1,000	1,000

Resultados

DecisionStump	0,881	0,000	0,000	0,000		0,001	0,003	0,008	0,000	0,000	0,000	0,425	0,003	1,000
J48	0,999	0,072	0,003	0,012	0,999		0,955	0,928	0,032	0,140	0,002	0,999	0,968	1,000
IBK	0,998	0,000	0,000	0,000	0,998	0,053		0,427	0,001	0,000	0,000	0,999	0,843	1,000
JRip	0,998	0,001	0,000	0,001	0,994	0,083	0,602		0,002	0,003	0,000	0,984	0,824	1,000
LMT	1,000	0,515	0,053	0,157	1,000	0,974	0,999	0,999		0,917	0,032	1,000	1,000	1,000
Logistic	1,000	0,218	0,004	0,022	1,000	0,876	1,000	0,997	0,095		0,001	1,000	1,000	1,000
LogitBoost	1,000	0,986	0,456	0,803	1,000	0,999	1,000	1,000	0,974	0,999		1,000	1,000	1,000
OneR	0,799	0,000	0,000	0,000	0,604	0,001	0,001	0,019	0,000	0,000	0,000		0,001	1,000
SMO	0,999	0,000	0,000	0,000	0,997	0,038	0,176	0,197	0,001	0,000	0,000	0,999		1,000
Stacking	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Tabla 8: comparativa estadística de los diferentes clasificadores aplicando U-test

Analizando los resultados, los métodos que proporcionan mejores resultados son aquellos basados en la mixtura de clasificadores, concretamente los basados en métodos de bagging y boosting en los que se ha aplicado una red bayesiana como clasificador.

Discusión

El sistema de Razonamiento Basado en Casos creado en base a los datos obtenidos fue capaz de predecir el éxito o fracaso de los tratamientos de conductos; por tanto, la hipótesis nula inicial queda rechazada.

En general los resultados estadísticos obtenidos por nuestro trabajo no distan mucho de los obtenidos anteriormente por los autores revisados. No obstante el objetivo principal de este trabajo no es la identificación pormenorizada de cada variable y su influencia en la aparición de FVR y por tanto, los datos obtenidos no identifican características concretas de cada variable de estudio sólo su influencia o no en la producción de FVR.

En cuanto a la metodología utilizada, hemos usado la **Inteligencia Artificial**, en concreto los sistema CBR para predecir los fracaso endodónticos en lugar de utilizar la estadística clásica porque este tipo de sistema permiten trabajar de forma similar a como lo haría un experto humano, utilizando la experiencia de casos anteriores, actualizándose y “aprendiendo” a medida que se introducen nuevos casos.

En las etapas del ciclo de razonamiento se pueden incorporar diferentes técnicas de Inteligencia Artificial para la selección de casos más similares, reutilizados y revisados. Los test estadísticos ofrecen una predicción estática de cada problema sin avanzar ni ampliarse hasta que se vuelve a hacer una nueva colección de datos que sean analizados estadísticamente. Además, los contrastes paramétricos requieren del

cumplimiento de una serie de condiciones que no siempre se dan y se aplican de igual modo por lo que no siempre los resultados que proporcionan son fiables [146-148]. El test de ANOVA es uno de los más usados en el campo de la bioinformática [24-25] [26], aunque hay que tener en cuenta que no siempre se pueden tomar como ciertas las suposiciones sobre la distribución de los datos.

El sistema CBR está en constante revisión, aprendiendo de las soluciones ofrecidas a cada problema y reutilizando soluciones pasadas para resolver problemas futuros. Los sistemas CBR han sido utilizados con anterioridad en el ámbito médico, evidenciando un mayor valor predictivo que la estadística tradicional y por tanto mayor valor clínico [32] [149].

En nuestro estudio se han usado redes bayesianas para la adaptación de los casos recuperados durante la fase de reutilización aunque se han utilizado diferentes técnicas para comparar el funcionamiento. Durante la etapa de reutilización se aplicaron diferentes algoritmos, obteniendo los mejores resultados la red bayesiana en base a las curvas ROC y al tipo de variables a estudiar. Las redes bayesianas se han descrito como las técnicas aplicadas dentro del CBR para solucionar problemas donde existan muchas variables a considerar y diferentes valores en cada variable [148]. Este es el caso de los fracasos endodónticos, donde existen numerosas variables a estudiar y dichas variables pueden presentar valores muy diferentes que no se pueden agrupar fácilmente ni obtener grupos lo suficientemente numerosos ni homogéneos [150].

En nuestro trabajo el CBR creado con redes bayesianas mostró una potencia de predicción elevada, como muestra el índice de aciertos del 89%, mayor que la demostrada para estos estudios por la estadística inferencial. Por tanto, a partir de estas predicciones, podríamos pronosticar en tiempo real, si nuestros tratamientos fracasarán o serán exitosos con un índice de error del 12%. Además estos errores nunca fueron falsos positivos, es decir nunca se pronosticó un fracaso que no se produjera, a diferencia de los test estadísticos clásicos, que sí presentan falsos positivos en un porcentaje mayor. Por tanto, cuando se realizasen predicciones erróneas nunca se pronosticarían fracasos clínicos y exodoncias que no fueran necesarias.

No existen estudios recientes similares a nuestro trabajo, si bien en toda la bibliografía consultada, los estudios previos realizados con inteligencia artificial han utilizado, como en nuestro caso, redes bayesianas para predecir y clasificar diferentes situaciones.

En 2010 *Acharya; A.*, y colaboradores revisaron un total de 221 ortopantomografías realizadas en pacientes de entre 15 y 21 años. Estos pacientes fueron tratados ortodónticamente y era necesaria la evaluación del estadio de los cordales existentes para establecer pautas de tratamiento en el tiempo necesario con la mayor precisión posible.

Utilizando redes bayesianas adaptadas a esta variable se estableció un sistema de predicción de erupción del cordal que acertaba en un 73.2% de los casos lo que facilitaba la determinación del momento de la exodoncia en función de la edad y el sexo del paciente de una forma más concreta que las valoraciones habituales que se realizan en función de la imagen radiológica que presenta.[151].

En 2012 *Tu; T.K.* y colaboradores aplicaron redes bayesianas para clasificar pacientes periodontales en función de la profundidad de bolsa periodontal y de la cantidad de pérdida de inserción que tenían. Además se establecían dos tipos distintos de tratamiento y se utilizó la red bayesiana para predecir el éxito de cada uno en función de las variables de estudio [152].

En 2012 *Corradi; F.* y colaboradores también aplicaron la inteligencia artificial a la predicción de erupción de cordales en pacientes con ortodoncia. Seleccionaron en este caso 559 ortopantomografías de pacientes de ortodoncia cuyas edades oscilaban entre 16 y 22 años. Confeccionaron un sistema CBR con una aplicación bayesiana para establecer si el estadio determinado mediante la visualización de la ortopantomografía y su semejanza con los estadios de erupción clásicos eran los correctos. Con un 80.2% de acierto la red bayesiana fue de utilidad para determinar el estadio de erupción y establecer el momento del tratamiento [153].

En 2013 *Buti; J.* y colaboradores aplicaron la inteligencia artificial para realizar una clasificación de todos los estudios existentes sobre tipos de recesiones cervicales y su mejor tratamiento. Revisaron un total de 29 estudios y los colocaron de mayor a menor importancia utilizando una red bayesiana. De esta forma obtuvieron un ranking para seleccionar los casos de recesiones y su óptimo tratamiento de forma más sencilla [154]

En 2013 también *Frosio; I.* y colaboradores también aplicaron la inteligencia artificial a la toma de decisiones. Estudiaron 4 tipos de mecanismos de radiología dental y aplicando la red bayesiana establecieron que tipo de sistema es el que menor deformación y ejerce en las estructuras anatómicas y la que mayor precisión ofrece [155].

En 2013 *Chesnokov; V.A.*, y colaboradores realizaron un estudio en pacientes tratados con ortodoncia donde estudiaron la cantidad y concentración del s.sanguis ya que esta bacteria está presente en la saliva humana siempre que exista el s.mutans principal causante de la caries dental. Los pacientes portadores de tratamientos ortodóncicos presentan mayor riesgo de caries por la existencia de aparatología que dificulta la higiene oral

Por tanto se evaluó la presencia de esta bacteria y su concentración en la saliva de los pacientes y utilizando una red bayesiana se estableció una predicción del poder cariogénico de este microorganismo en los pacientes [156].

En 2014 *Coelho; E.D.* y colaboradores en la misma línea que el estudio anterior, obtuvieron el primer modelo de interacción de microbiología oral mediante la aplicación de predicciones bayesianas. Estudiaron 5 combinaciones proteicas existentes en la microflora oral y su interacción para producir patología periodontal y dental. Seleccionaron variables relacionadas con los perfiles dentales del paciente, la interacción primaria de los microorganismos y las proteínas desarrolladas y las distintas interacciones de las mismas. De esta manera en función de la combinación proteica estudiada se pronosticaba el tipo de microbiota del paciente y las posibles patologías [157].

No obstante aunque existen aplicaciones de las redes bayesianas en el campo odontológico, la mayoría de los estudios han sido llevados a cabo para realizar los algoritmos necesarios para la confección adecuada de los distintos sistemas sin intención de aplicación clínica. Por tanto la metodología y los resultados obtenidos, que aunque demuestran que la aplicación de redes bayesianas en nuestro estudio es correcta, no persiguen la aplicación clínica que persigue este estudio.

Recientemente *Aliaga , I.J. [158]* ha publicado una tesis doctoral en la misma línea que nuestro estudio. Se establece que el CBR con modificaciones adecuadas en su fase de reutilización ofrecía mayor poder de predicción que la estadística inferencial. En nuestro caso, utilizamos redes bayesianas, un algoritmo distinto al utilizado por *Aliaga, I.J. [158]* pero también hayamos mayor poder predictivo que la estadística clásica al tratarse de una muestra con un número de variables de estudio muy amplio.

Si bien el ámbito de aplicación de este trabajo eran las restauraciones de composite y no el campo endodóntico, podemos decir que la utilización de CBR en el campo de la odontología es viable y establece una capacidad de predicción mayor que la estadística clásica.

En cuanto al número de casos elegidos para el estudio, se seleccionaron un total de 205 casos del fichero para comprobar que los sistemas CBR pueden pronosticar con un alto índice de aciertos. En este trabajo se comprobó que los sistemas de Razonamiento Basados en Casos pueden establecer predicciones basándose en un número muy reducido de casos estudiados y predecir los resultados de los tratamientos de conductos con una seguridad del 89%. La estadística clásica requiere de un mayor número de casos para predecir con tanta seguridad.

En cuanto a las variables seleccionadas en nuestro estudio fueron todas las que se recogen de forma habitual a los pacientes que se les realizan los tratamientos de

conductos. Estas variables se seleccionaron porque recogían la mayor cantidad de datos relativos al paciente, al tratamiento y al operador. De este modo, se seleccionó el mayor número posible de variables que ayudasen al sistema CBR a predecir de una forma más fiable.

Con respecto a los resultados obtenidos, antes de realizar la programación del sistema CBR, es necesario un estudio estadístico de las variables analizadas. Encontramos que la existencia previa de caries dental muy avanzada, la técnica de condensación lateral y el mayor grado de dificultad del tratamiento según la AAE, favorecían el fracaso de los tratamientos de conductos por fracturas radiculares coincidiendo con lo publicado por Carratu y Ravindranth [159-161] [162-165] [166]

De forma pormenorizada encontramos que las variables más influyentes en el fracaso endodóntico por fracturas verticales son:

1) *Tipo de instrumentación.*

Las distintas técnicas de instrumentación mecánica actuales ejercen desiguales fuerzas laterales a lo largo de la raíz a tratar y favorecen la aparición o desarrollo de cracks dentinarios. En nuestro estudio encontramos que el tipo de instrumentación se relaciona con el aumento en la incidencia del riesgo de fracturas. No obstante, todos los tratamientos fueron realizados con el mismo sistema rotatorio (Hero) o con instrumentación manual por lo

que sólo se puede establecer más riesgo por instrumentación mecánica pero no determinar el sistema más influyente.

En todos los estudios revisados se establece que la instrumentación mecánica favorece la aparición de fracturas radiculares posteriores a los tratamientos de conductos en comparación con la instrumentación manual. Las diferencias radican en el tipo de instrumentación mecánica que se utiliza y la mayor o menor incidencia de aparición de FVR en función de los distintos sistemas de limas usados.

Algunos autores revisados determinan que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos sistemas de instrumentación mecánica estudiados en cuanto a la incidencia de fracturas o el momento de aparición de las mismas. [133] [167] [168] [169, 170]. Además tal y como indican *Liu y cols.* [170], los dientes tratados de forma mecánica presentaban líneas de fisura múltiples y dirigidas en todas direcciones lo que favorece un avance rápido de la lesión en comparación con las fisuras producidas por la instrumentación manual.

Si bien existe consenso en las publicaciones al señalar la instrumentación mecánica como un factor de riesgo, cada autor realiza matizaciones distintas. *Kansal y cols* [167] *Capar y cols.* [168], *Karatas y*

cols. [169] y *Liu y cols.* [170] establecen comparaciones entre los distintos tipos de instrumentación e indican que existe menos incidencia de aparición de fracturas radiculares verticales en los dientes tratados con limas manuales y que, comparando el sistema WaveOne, Protaper Universal utilizado de forma convencional y de forma reciprocante, no existen diferencias significativas entre los sistemas rotatorios. [167].

Por tanto, podemos establecer, en base a los estudios revisados y a los resultados obtenidos, que la utilización de sistemas de instrumentación mecánica favorece la aparición de FVR. Este hallazgo podría ser debido a las excesivas fuerzas que este tipo de sistemas ejercen sobre la dentina radicular o al exceso de limado que se produce en el interior del conducto radicular. No obstante, la aparición de cracks dentinarios derivados del tratamiento de conductos no necesariamente desencadena la FRV ni la aparición de sintomatología. Si bien, este inicio de lesiones radiculares está muy relacionada con la aparición de fracasos posteriores por fisuras radiculares verticales con mal pronóstico.

Algunos estudios revisados, en contraposición con los anteriores, sí que encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los distintos sistemas de limas, como es el caso de *Barrato y cols.* [134] que indicaron que no existían diferencias estadísticamente significativas en la aparición de fracturas radiculares verticales o dientes partidos entre los dientes tratados

endodónticamente y los no tratados endodónticamente. Sin embargo si únicamente se estudian los dientes con FVR, este tipo de lesiones sólo se dieron en dientes tratados endodónticamente y más en los tratados de forma mecánica. Además, establecen que el sistema Protaper Universal es el sistema que mayor número de FVR produce entre los analizados por ellos.

Por otro lado, es necesario recordar, que numerosos casos diagnosticados como FVR posteriores a los tratamientos de conductos pueden estar mal diagnosticados, es decir, muchas de las FVR existen previamente al tratamiento de conductos y son aumentadas por el mismo. En muchos casos la existencia de este tipo de lesiones previas al tratamiento pasa inadvertida para el clínico y acaba desencadenando el fracaso del mismo. En ninguno de los estudios revisados al tratarse de estudios in vitro, se ha contemplado esta posibilidad.

En nuestro caso, hemos englobado la existencia de fracturas radiculares verticales y dientes rotos dentro del mismo grupo de estudio, ya que, independientemente de la causa que originase la lesión, hemos considerado dentro del grupo de fracasos a todos los dientes que teniendo alguna de estas lesiones habían tenido que ser extraídos. Si bien es cierto, que la mayoría presentaba fracturas verticales radiculares, también encontramos casos de dientes partidos, todos ellos en dientes tratados endodónticamente. Por tanto, resulta muy difícil comparar nuestro estudio

con los realizados por *Barrato y cols.* [134] ya que no podemos diferenciar el origen de la sintomatología clínica ni radiológica que llevó a la necesidad de exodoncia.

En la misma línea *Hin y cols.* [171] corroboraban los resultados de todos los estudios revisados hasta ahora estableciendo la utilización de sistemas de instrumentación mecánica como elemento favorecedor de la aparición de cracks dentinarios posteriores al tratamiento de conductos. Además coinciden con los estudios de *Barrato y cols.* al señalar al sistema Protaper Universal como uno de los sistemas que mayor número de FVR produce. No obstante señalan al sistema Mtwo como otro de los sistemas que mayor número de cracks dentinarios produce.

La incorporación de este sistema de instrumentación mecánica sólo ha sido encontrada en este estudio, quizá debido a que se trata del estudio revisado más antiguo y anterior a la aparición de algunos sistemas de instrumentación actuales. Los autores revisados o bien no encontraban diferencias significativas entre distintos tipos de limas o bien señalaban el sistema Protaper Universal como el mayor productor de cracks dentinarios. No obstante, es el único autor que contempla en su metodología la utilización de Mtwo para instrumentar sus dientes de estudio y por tanto los resultados no pueden ser comparados con ninguno de los resultados revisados.

Si analizamos el sistema Protaper Universal, tanto la sección transversal de su lima como su ángulo helicoidal o la angulación de las estrías, están diseñados para eliminar los detritos y favorecer el corte en el conducto evitando que la lima se rompa por estrés torsional. Su sección triangular redondeada disminuye el contacto con el conducto tratado evitando que la lima se quede atrapada en el mismo y aumentando su poder de corte. Igual ocurre con su ángulo helicoidal variable a lo largo de todo el instrumento totalmente diseñado para favorecer el corte del mismo. Así mismo, todas las características técnicas del sistema Protaper favorecerían el limado excesivo de la dentina radicular apical y por tanto la aparición fuerzas excesivas en la dentina periapical favoreciendo la creación de cracks dentinarios. No obstante no podemos señalar al sistema Protaper Universal como el sistema que mayor número de FVR sino como el sistema que más FVR produce hasta el momento ya que es el más estudiado y el más utilizado.

En nuestro estudio, no hemos podido comparar sistemas de limas mecánicas ya que todos los casos han sido tratados mediante un único sistema de instrumentación mecánica o de forma manual.

A su vez, *Hin y cols.* [171] introduce el sistema SAF dentro de su investigación e indica que no existen diferencias significativas entre los

cracks dentinarios producidos al instrumentar mecánicamente utilizando estas limas y los producidos al realizar una instrumentación manual. Resultados muy similares a los obtenidos por *Yoldas y cols.* [131] y por *Adoro y cols.* [132] donde indican que las limas SAF son las únicas, junto a la instrumentación manual que no producen cracks dentinarios. No obstante, la utilización clínica de las limas SAF es muy reducida y, aunque se establecen como el sistema rotatorio más seguro, la difícil utilización del mismo y la conformación que ofrece del sistema de conductos hacen que estos resultados sean extrapolados a la práctica clínica con prudencia.

Además del tipo de lima rotatoria, otro parámetro analizado es la longitud y el diámetro. *Adoro y cols.* [132] indican que el mayor número de cracks dentinarios se relaciona con la longitud de la instrumentación y el diámetro de la lima. Resultados muy similares a los obtenidos por *Liu y cols.* [172] que indican que a mayor diámetro de la lima utilizada y mayor longitud de trabajo más se favorece la aparición de cracks dentinarios ya que mayor fuerza se ejercen sobre las paredes radiculares.

Liu y cols. [172] a su vez, establecen que los sistemas mecánicos, específicamente el sistema Protaper Universal producen más fracturas que las limas manuales. La instrumentación hasta foramen apical o menor produce más defectos dentinarios pero menos cracks que la extensión hasta más allá del foramen.

De nuevo, se vuelve a establecer que el sistema Protaper Universal produce mayor número de fracturas radiculares verticales que el resto de sistemas. Si bien, no se han estudiado en ningún trabajo todos los sistemas que actualmente aparecen en el mercado, teniendo en cuenta sus características técnicas y los resultados de los trabajos de *Adoro y cols.* [132] y de *Liu y cols.* [172] podemos estar de acuerdo con las conclusiones obtenidas. No obstante en nuestro caso, no podemos comparar con estos resultados ya que ninguno de nuestros casos de estudio había sido instrumentado con este sistema ni se encontraron diferencias estadísticamente significativas al estudiar longitud de trabajo utilizada o diámetro apical. Al tratarse de un estudio retrospectivo no existía la posibilidad de revisar si la longitud de trabajo se encontraba en constricción apical o más o menos lejos ni de comprobar el calibre apical previo al tratamiento de conductos. Por tanto hemos revisado los datos únicamente describiendo los casos como habían sido finalizados sin poder hacer comparaciones con respecto a la longitud o diámetro de la preparación y si eran adecuadas o no.

Para intentar explicar las razones de este comportamiento de las limas mecánicas y por qué se ejercen mayores fuerzas en la porción apical, *Kim y cols.* [137] en 2013 realizaron un estudio de elementos finitos y concentración de estrés comparando limas antes y después de su utilización.

Los resultados obtenidos demuestran que el estrés ejercido sobre la dentina varía a lo largo de todo el conducto y que durante el movimiento la zona apical es donde mayor estrés dentinario se registra. Por tanto se establece que la mayor fuerza ejercida sobre la dentina por los sistemas de instrumentación mecánica convencionales favorece en mayor medida la creación de cracks dentinarios y por tanto de fracturas verticales [137].

Estudios anteriores de este mismo grupo de investigación[136], con similar metodología analizan la importancia de la sección de la lima para la producción de cracks dentinarios. Realizando representaciones tridimensionales previas y posteriores a su utilización dentro del sistema de conductos demostraron que se producía estrés en toda la lima en cuanto entraba en contacto con el conducto pero que se producía mayor estrés en la porción apical y que las limas que mayor estrés ejercían sobre la dentina eran las limas Protaper Universal lo cual favorecía la aparición de cracks dentinarios.

Por tanto, los estudios previos realizados corroboran los hallazgos de nuestro estudio, demostrando que la instrumentación mecánica favorece la aparición de defectos dentinarios que producen fracturas verticales en mayor medida que la instrumentación manual. De los estudios revisados indican que existen grandes diferencias de incidencia de cracks dentinarios entre los distintos sistemas de instrumentación mecánica pero que de momento, no

existe ningún estudio que revise todos los sistemas y los compare, si bien es cierto que todos los estudios revisados indican que las limas SAF ofrecen la menor incidencia de fracturas y que las limas Protaper son las que mayoritariamente ofrecen mayor cantidad de cracks. No obstante en nuestro estudio no hemos comparado sistemas de limas diferentes y por tanto no podemos discutir este punto en concreto.

2) Grado de dificultad del tratamiento.

Siguiendo la clasificación de la Asociación Americana de Endodoncia, valoramos el grado de dificultad de todos los tratamientos realizados y obtuvimos que a mayor grado de dificultad mayor riesgo de fractura vertical de la raíz. En la bibliografía consultada no encontramos estudios que relacionen directamente esta clasificación con el riesgo de fracturas radiculares. Tampoco encontramos estudios que relacionasen curvaturas extremas, existencia de bifurcaciones o cualquier alteración radicular con la aparición de fracturas verticales. Únicamente los estudios de instrumentación mecánica señalaban que el exceso de fuerza ejercido sobre las paredes dentinarias del conducto favorece la aparición de fracturas verticales. Por tanto, podríamos decir que la existencia de curvaturas más o menos abruptas y de alteraciones radiculares pueden favorecer el aumento de la tensión ejercida por los instrumentos sobre la dentina y hacer aparecer fracturas verticales.

No obstante serían necesarios estudios concretos de esta variable para poder establecer una relación directa [131, 134, 170, 171]

3) Restauración del diente

Los tratamientos de conductos generalmente dejan los dientes con una gran pérdida de estructura dentaria haciendo que sean más frágiles a la hora de soportar las fuerzas masticatorias.

La restauración ideal de estos dientes tratados endodónticamente es compleja ya que existen numerosas variables que condicionan la elección de un tipo de restauración u otro. La dentina remanente es la base sólida necesaria para que la restauración sea funcional y duradera, su cantidad, fuerza, integridad y forma anatómica determinarán el tipo y pronóstico de las restauraciones coronarias [173].

Varias de nuestras variables relacionadas con el tipo y tiempo de restauración coronal del diente endodonciado resultaron influyentes en la aparición de fracturas radiculares verticales.

La colocación de postes intrarradiculares y restauraciones coronarias complejas, es en algunas ocasiones, necesaria dada la gran pérdida de dentina.

Existen numerosos materiales para confeccionar postes: oro, metales semipreciosos, no preciosos, acero inoxidable, níquel-cromo, aleaciones de titanio, titanio puro, fibra de carbono, fibra de vidrio o zirconia. La elección de un tipo de material u otro, es un punto controvertido actualmente. Existen autores que indican que los postes intrarradiculares deben tener un módulo elástico similar al de la dentina (18GPa) y por tanto que los postes más indicados son los de fibra de vidrio o de carbono (29GPa). De esta manera, las fuerzas serán transmitidas a toda la dentina remanente y de forma más similar a la transmisión natural de las mismas. Sin embargo otros autores consideran que los postes utilizados deben tener un módulo elástico mayor que la dentina para aumentar su resistencia, señalando como los postes más indicados los de titanio (110GPa), los de acero inoxidable (193GPa) o los de zirconia (220GPa). [174-176]

En nuestro estudio, la existencia de postes de fibra de vidrio en el interior de los conductos tratados fue señalada como una variable de riesgo en la aparición de fracturas radiculares. Existe gran controversia en la bibliografía consultada, donde hay autores que indican que los dientes portadores de postes de fibra son más resistentes ante las fracturas radiculares que los no portadores [177] [178] y autores que toman esta resistencia como poco significativa o nula [179] [180]

La elección del material del poste, el diámetro, longitud, el tipo de preparación y la posterior restauración del diente tratado determinarán la aparición de FVR posteriores al tratamiento de conductos. Aunque existe gran controversia, la utilización de postes y restauraciones coronarias con un módulo elástico similar a la dentina, favorecen la repartición de las fuerzas a lo largo de la raíz y la correcta amortiguación de las mismas por parte del ligamento periodontal. [181, 182]

En general los estudios realizados someten a los dientes restaurados a fuerzas axiales o laterales hasta su completa fractura, si bien, las metodologías son similares, podríamos basar la existencia de las diferencias entre unos y otros en la aplicación de fuerzas en distinta dirección. Si bien, *Salameh y cols.* [177] [178] realizan sus trabajos ejerciendo fuerzas laterales sobre los dientes tratados, *D'Arcangelo y cols.* [179], realiza fuerzas axiales sobre los dientes de estudio.

Por su lado *Capar y cols.* [181] señala que la utilización de drills para confeccionar los lechos que portarán los postes de fibra no favorece la creación de FVR sino que aumenta de tamaño las que existen con anterioridad. Aunque la confección del lecho para el poste utilizando instrumentos de níquel-titanio se considera la más adecuada, con la correcta planificación en cuanto a longitud y grosor del poste elegido y una adecuada refrigeración, no existen diferencias entre la utilización de limas rotatorias y fresas Gates o Pesseo.

Nuestro trabajo no ha tenido en cuenta la influencia de las fresas de confección de lechos a la hora de producir fracturas radiculares verticales. Si bien serían necesarios más estudios de forma pormenorizada, podríamos extrapolar los resultados obtenidos para la utilización de sistemas rotatorios en la fase de instrumentación de conducto y establecer, que el limado excesivo y con fresas excesivamente gruesas a una longitud de trabajo muy cercana al ápice favorecen la aparición de fracturas radiculares. No obstante, no tenemos datos que revisen esta variable y por tanto no podemos señalarla como variable de riesgo.

Aún así, no existe consenso en las publicaciones actuales ya que aparecen distintas metodologías en los estudios revisados y por tanto no se puede establecer una comparación adecuada. En nuestro caso, la existencia de postes de fibra fue considerada como un factor de riesgo de producir fracturas radiculares verticales posteriores al tratamiento de conductos. Sin embargo, nuestro trabajo no persigue como objetivo principal el estudio pormenorizado de los distintos tipos de poste ni la identificación de las características de los mismos que puedan influir en los fracasos.

En segundo lugar estudiamos el tipo de restauración coronaria final, la adecuada selección del material de confección y del tipo de unión entre diente y restauración determinarían el éxito o fracaso del tratamiento. La utilización de

restauraciones con similar módulo elástico a la dentina favorece la correcta repartición de las fuerzas oclusales a lo largo de la raíz y evita las FVR.

En este punto, en nuestro trabajo hemos englobado las FVR y los casos de dientes partido como fracasos que necesitaron exodoncia. Si bien, las causas que originan los mismos son distintas ya que la aparición de dientes partidos está más relacionada con la restauración coronaria y la aparición de FVR con el tratamiento de conductos, en nuestro caso hemos englobado las dos situaciones en el grupo de fracasos al tratarse de dientes no viables.

Cuando estudiamos la relación del tipo de restauración coronaria con la aparición de fracturas radiculares verticales tanto los dientes no restaurados como los portadores de coronas metal-cerámicas o puentes metal-cerámicos presentaban mayores índices de fracturas radiculares verticales. Al igual que ocurre con la existencia de postes, no hay consenso en la bibliografía, existen autores que señalan como más resistentes las restauraciones adheridas que las restauraciones únicamente cementadas [177] [178] mientras que otros autores lo consideran lo contrario [179].

Si bien es cierto, que los dientes tratados endodónticamente sin restauración coronaria es lógico que acaben fracasando por fracturas coronarias o radiculares verticales, la existencia de FVR en dientes portadores de

restauraciones rígidas responde a la no consideración del módulo elástico de las mismas y la dentina. Es decir, si colocamos restauraciones metal-cerámicas con un módulo elástico de 96 GPa o restauraciones de zirconio con un módulo elástico de 150 GPa sobre la menguada dentina remanente, la transmisión de fuerzas se dirigirá directamente a la porción radicular sin amortiguarse por el ligamento periodontal favoreciendo la aparición de FRV [174].

No obstante, en nuestro caso no hemos utilizado restauraciones coronarias completas que no fuesen de metal-cerámica y por tanto no podemos establecer una comparación con las referencias consultadas. Además los estudios que comparan los distintos tipos de restauraciones coronarias para establecer mayor o menor resistencia, no valoran la porción radicular. Únicamente establecen si la fractura coronaria es favorable para restaurarse de nuevo o desfavorable y es necesaria la extracción. Por tanto ninguno puede ser comparado con nuestro trabajo ya que en ningún momento se establece si hay aparición o aumento de cracks dentinarios a nivel radicular.

4) **Oclusión.**

En nuestro estudio hallábamos que la existencia de una oclusión no equilibrada con ausencia de los dientes adyacentes y de más de 4-6 dientes en toda la boca favorecía la aparición de fracturas verticales. No existen estudios que relacionen directamente la oclusión con la aparición de fracturas radiculares,

pero existen trabajos in vitro y de elementos finitos que responden a las conclusiones obtenidas.

Dichos estudios [183] [184] indican que la existencia de un tratamiento de conductos no disminuye la resistencia de los dientes ante las fuerzas axiales utilizadas pero sí que favorece la aparición de fracturas no restaurables. Ya que, como indica *Petcu y cols.* en sus trabajos, ante la misma fuerza ejercida los dientes no vitales presentaban mayor deformación que los dientes vitales pero esta deformación no alteraba su estructura porque no superaba su módulo de elasticidad. Mientras que los dientes no vitales sí que sufren alteraciones en su estructura que se acumulan en el cuello dentario y producen , cuando se supera el módulo elástico, fracturas desfavorables [184].

Por tanto, podemos establecer que una correcta oclusión, estable y equilibrada reduciría la aparición de fracturas radiculares en dientes endodonciados. La existencia de dientes endodonciados sin dientes adyacentes los hace portadores del total de las fuerzas masticatorias ejercidas sobre esa zona y por tanto portadores de riesgo de padecer fracturas no restaurables.

Por otro lado, estudiar el antagonista que ejercerá fuerzas axiales sobre el diente restaurado ayudará a seleccionar el tipo de restauración necesaria. Atendiendo al módulo elástico del diente sano y del diente restaurado en función

del tipo de restauración del que sea portador existen situaciones en las que serán necesarias consideraciones específicas para adaptar y repartir de forma adecuada las fuerzas masticatorias. En nuestro estudio fueron recogidos datos del número de dientes ausentes en toda la boca y de la existencia o no de adyacentes sanos pero no evaluamos las características del diente antagonista dado que los datos registrados en las fichas no consideraban estas características.

Si bien estudiados de forma pormenorizada todos los factores de riesgo de padecer fracturas radiculares parecen evitables escapando de los distintos condicionantes, de nuestro estudio podemos desprender que no existe únicamente una variable de estudio que indique directamente la existencia o no de la fractura radicular. Se trata de una suma de variables que en muchos casos desencadenan las fracturas radiculares posteriores a los tratamientos de conductos, pero que de forma independiente no desencadenan tantos fracasos. Es decir, no existe ninguna causa como culpable total de todas las fracturas y por tanto no hay forma de evitarlas eliminando este factor. Existe una suma de distintas variables que en función de cada paciente aumenta o no el riesgo de fracturas radiculares posteriores al tratamiento.

Es así, que la utilización de herramientas que ayuden a establecer de forma personalizada, dinámica y concreta el pronóstico de los tratamientos de conductos ayudará a los clínicos a tomar mayores precauciones con todas las variables de riesgo de producir fracturas.

En nuestra opinión este estudio abre la puerta a la utilización del CBR en el diagnóstico inicial de los casos, permitiendo al clínico incorporar una serie de variables del paciente y del tratamiento para obtener una predicción inmediata sobre su evolución, y de este modo facilitar la selección de los casos para realizar el tratamiento de conductos.

Conclusiones

1. El sistema CBR creado utilizando en su fase de reutilización una red Bayesiana es capaz de predecir en tiempo real la posibilidad de fracaso endodóntico por fracturas radiculares radiculares o dientes partidos a partir de las variables introducidas relacionadas con el paciente y con el tratamiento.
2. Las redes Bayesianas ofrecen un poder de predicción del 89% de forma dinámica, mayor que la estadística clásica.
3. Las redes Bayesianas como método de reutilización de los sistemas CBR ofrecen mayor poder predictivo (89%) y menor índice de falsos positivos que el resto de los sistemas utilizados.
4. La utilización de instrumentación mecánica aumenta la incidencia de aparición de fracturas verticales radiculares posteriores al tratamiento de conductos radiculares.

5. Los tratamientos considerados como de riesgo moderado o alto según la AAE presentan mayor incidencia de aparición de FVR o dientes partidos.

6. Los dientes tratados endodónticamente con ausencia de restauración coronaria, portadores de postes rígidos y restauraciones completas rígidas presenta un aumento del índice de fracasos por FVR o dientes partidos.

7. Los tratamientos de conductos realizados en pacientes con ausencia de dientes adyacentes al tratado o de más de 4 dientes en toda la boca presentan mayor incidencia de fracturas verticales radiculares.

8. Los sistemas de predicción mediante CBR pueden constituir una herramienta de decisión para el clínico.

9. Son necesarios más estudios para aumentar el poder predictivo y la estandarización del sistema CBR

Anexos

ANEXO I. CONSENTIMIENTO INFORMADO

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO PARA LOS PACIENTES

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

INFORMACIÓN PARA EL PACIENTE O RESPONSABLE

Nuestro estudio “Aplicación de la Inteligencia Artificial en la predicción de fracasos endodónticos” tiene como objetivo recoger datos clínicos y radiográficos de los tratamientos de conductos realizados previamente para posteriormente analizarlos utilizando sistemas informáticos de inteligencia artificial.

Tras la primera exploración se realizará un examen radiográfico específico para la evaluación del los tratamientos endodónticos realizados.

Los datos serán tratados con total confidencialidad atendiendo a la Ley Orgánica 15/99 de protección de datos y de forma anónima.

Una vez informado al paciente de los objetivos y métodos de este estudio, si está en disposición de aceptar la colaboración en esta investigación, firme el presente impreso de consentimientos y, a continuación procederemos a la realización de la exploración clínica y radiográfica necesaria.

Gracias.

MADRID, a de de

Firmado (en caso de ser menor de edad, incapacitado o impedido firmarán los padres, tutores o representantes legales)

ANEXO II. VARIABLES DE ESTUDIO

Sexo	Hábitos	Patología general	Tratamientos medicos actuales	Alergias	Momento del tratamiento. Tiempo desde la endodoncia
Sesiones	Tipo de instrumentación	Tipo de condensación	Tipo de anestésico utilizado	Valoración de dificultad de la AAE	Tipo y localización de diente
Anatomía coronal	Anatomía radicular	Anomalías	Tipo de restauración	Restauración con poste	Tipo de poste
Tiempo hasta la reconstrucción	Número de raíces	Diámetro de los conductos tratados	Longitude de los conductos tratados	Numero de conductos tratados	Morfología radicular post-tratamiento
Curvatura	Grado de curvatura	CAL	Tiempo hasta el fracaso	Occlusion estable	Adyacentes remanentes

ANEXO III. VALORACIÓN DEL GRADO DE DIFICULTAD POR LA AAE



AAE Endodontic Case Difficulty Assessment Form and Guidelines

PATIENT INFORMATION

Name _____

Address _____

City/State/Zip _____

Phone _____

DISPOSITION

Treat in Office: Yes No

Refer Patient to: _____

Date: _____

Guidelines for Using the AAE Endodontic Case Difficulty Assessment Form

The AAE designed the Endodontic Case Difficulty Assessment Form for use in endodontic curricula. The Assessment Form makes case selection more efficient, more consistent and easier to document. Dentists may also choose to use the Assessment Form to help with referral decision making and record keeping.

Conditions listed in this form should be considered potential risk factors that may complicate treatment and adversely affect the outcome. Levels of difficulty are sets of conditions that may not be controllable by the dentist. Risk factors can influence the ability to provide care at a consistently predictable level and impact the appropriate provision of care and quality assurance.

The Assessment Form enables a practitioner to assign a level of difficulty to a particular case.

LEVELS OF DIFFICULTY

MINIMAL DIFFICULTY Preoperative condition indicates routine complexity (uncomplicated). These types of cases would exhibit only those factors listed in the MINIMAL DIFFICULTY category. Achieving a predictable treatment outcome should be attainable by a competent practitioner with limited experience.

MODERATE DIFFICULTY Preoperative condition is complicated, exhibiting one or more patient or treatment factors listed in the MODERATE DIFFICULTY category. Achieving a predictable treatment outcome will be challenging for a competent, experienced practitioner.

HIGH DIFFICULTY Preoperative condition is exceptionally complicated, exhibiting several factors listed in the MODERATE DIFFICULTY category or at least one in the HIGH DIFFICULTY category. Achieving a predictable treatment outcome will be challenging for even the most experienced practitioner with an extensive history of favorable outcomes.

Review your assessment of each case to determine the level of difficulty. If the level of difficulty exceeds your experience and comfort, you might consider referral to an endodontist.

The contribution of the Canadian Academy of Endodontics and others to the development of this form is gratefully acknowledged.

The AAE Endodontic Case Difficulty Assessment Form is designed to aid the practitioner in determining appropriate case disposition. The American Association of Endodontists neither expressly nor implicitly warrants any positive results associated with the use of this form. This form may be reproduced but may not be amended or altered in any way.

© American Association of Endodontists, 211 E. Chicago Ave., Suite 1100, Chicago, IL 60611-2691; Phone: 800/873-8636 or 312/266-7255; Fax: 800/851-9030 or 312/266-9967; E-mail: info@aae.org; Web site: www.aae.org

AAE Endodontic Case Difficulty Assessment Form

CRITERIA AND SUBCRITERIA	MINIMAL DIFFICULTY	MODERATE DIFFICULTY	HIGH DIFFICULTY
A. PATIENT CONSIDERATIONS			
MEDICAL HISTORY	<input type="checkbox"/> No medical problem (ASA Class 1*)	<input type="checkbox"/> One or more medical problems (ASA Class 2*)	<input type="checkbox"/> Complex medical history/serious illness/disability (ASA Classes 3-5*)
ANESTHESIA	<input type="checkbox"/> No history of anesthesia problems	<input type="checkbox"/> Vasodilator intolerance	<input type="checkbox"/> Difficulty achieving anesthesia
PATIENT DISPOSITION	<input type="checkbox"/> Cooperative and compliant	<input type="checkbox"/> Anxious but cooperative	<input type="checkbox"/> Uncooperative
ABILITY TO OPEN MOUTH	<input type="checkbox"/> No limitation	<input type="checkbox"/> Slight limitation in opening	<input type="checkbox"/> Significant limitation in opening
GAG REFLEX	<input type="checkbox"/> None	<input type="checkbox"/> Gags occasionally with radiograph/treatment	<input type="checkbox"/> Extreme gag reflex which has compromised past dental care
EMERGENCY CONDITION	<input type="checkbox"/> Minimum pain or swelling	<input type="checkbox"/> Moderate pain or swelling	<input type="checkbox"/> Severe pain or swelling
B. DIAGNOSTIC AND TREATMENT CONSIDERATIONS			
DIAGNOSIS	<input type="checkbox"/> Signs and symptoms consistent with recognized pulpal and periapical conditions	<input type="checkbox"/> Extensive differential diagnosis of usual signs and symptoms required	<input type="checkbox"/> Confusing and complex signs and symptoms; difficult diagnosis <input type="checkbox"/> History of chronic orofacial pain
RADIOGRAPHIC DIFFICULTIES	<input type="checkbox"/> Minimal difficulty obtaining/interpreting radiographs	<input type="checkbox"/> Moderate difficulty obtaining/interpreting radiographs (e.g., high floor of mouth, narrow or low palatal vault, presence of tori)	<input type="checkbox"/> Extreme difficulty obtaining/interpreting radiographs (e.g., superimposed anatomical structures)
POSITION IN THE ARCH	<input type="checkbox"/> Anterior/premolar <input type="checkbox"/> Slight inclination (<10°) <input type="checkbox"/> Slight rotation (<10°)	<input type="checkbox"/> 1st molar <input type="checkbox"/> Moderate inclination (10-30°) <input type="checkbox"/> Moderate rotation (10-30°)	<input type="checkbox"/> 2nd or 3rd molar <input type="checkbox"/> Extreme inclination (>30°) <input type="checkbox"/> Extreme rotation (>30°)
TOOTH ISOLATION	<input type="checkbox"/> Routine rubber dam placement	<input type="checkbox"/> Simple pretreatment modification required for rubber dam isolation	<input type="checkbox"/> Extensive pretreatment modification required for rubber dam isolation
CROWN MORPHOLOGY	<input type="checkbox"/> Normal original crown morphology	<input type="checkbox"/> Full coverage restoration <input type="checkbox"/> Porcelain restoration <input type="checkbox"/> Bridge abutment <input type="checkbox"/> Moderate deviation from normal tooth/root form (e.g., taurodontism, microdens) <input type="checkbox"/> Teeth with extensive coronal destruction	<input type="checkbox"/> Restoration does not reflect original anatomy/alignment <input type="checkbox"/> Significant deviation from normal tooth/root form (e.g., fusion, dens in dente)
CANAL AND ROOT MORPHOLOGY	<input type="checkbox"/> Slight or no curvature (<10°) <input type="checkbox"/> Closed apex (<1 mm in diameter)	<input type="checkbox"/> Moderate curvature (10-30°) <input type="checkbox"/> Crown axis differs moderately from root axis. Apical opening 1-1.5 mm in diameter	<input type="checkbox"/> Extreme curvature (>30°) or S-shaped curve <input type="checkbox"/> Mandibular premolar or anterior with 2 roots <input type="checkbox"/> Maxillary premolar with 3 roots <input type="checkbox"/> Canal divides in the middle or apical third <input type="checkbox"/> Very long tooth (>25 mm) <input type="checkbox"/> Open apex (>1.5 mm in diameter)
RADIOGRAPHIC APPEARANCE OF CANAL(S)	<input type="checkbox"/> Canal(s) visible and not reduced in size	<input type="checkbox"/> Canal(s) and chamber visible but reduced in size <input type="checkbox"/> Pulp stones	<input type="checkbox"/> Indistinct canal path <input type="checkbox"/> Canal(s) not visible
RESORPTION	<input type="checkbox"/> No resorption evident	<input type="checkbox"/> Minimal apical resorption	<input type="checkbox"/> Extensive apical resorption <input type="checkbox"/> Internal resorption <input type="checkbox"/> External resorption
C. ADDITIONAL CONSIDERATIONS			
TRAUMA HISTORY	<input type="checkbox"/> Uncomplicated crown fracture of mature or immature teeth	<input type="checkbox"/> Complicated crown fracture of mature teeth <input type="checkbox"/> Subluxation	<input type="checkbox"/> Complicated crown fracture of immature teeth <input type="checkbox"/> Horizontal root fracture <input type="checkbox"/> Alveolar fracture <input type="checkbox"/> Intrusive, extrusive or lateral luxation <input type="checkbox"/> Avulsion
ENDODONTIC TREATMENT HISTORY	<input type="checkbox"/> No previous treatment	<input type="checkbox"/> Previous access without complications	<input type="checkbox"/> Previous access with complications (e.g., perforation, non-negotiated canal, ledge, separated instrument) <input type="checkbox"/> Previous surgical or nonsurgical endodontic treatment completed
PERIODONTAL-ENDODONTIC CONDITION	<input type="checkbox"/> None or mild periodontal disease	<input type="checkbox"/> Concurrent moderate periodontal disease	<input type="checkbox"/> Concurrent severe periodontal disease <input type="checkbox"/> Cracked teeth with periodontal complications <input type="checkbox"/> Combined endodontic/periodontic lesion <input type="checkbox"/> Root amputation prior to endodontic treatment

*American Society of Anesthesiologists (ASA) Classification System

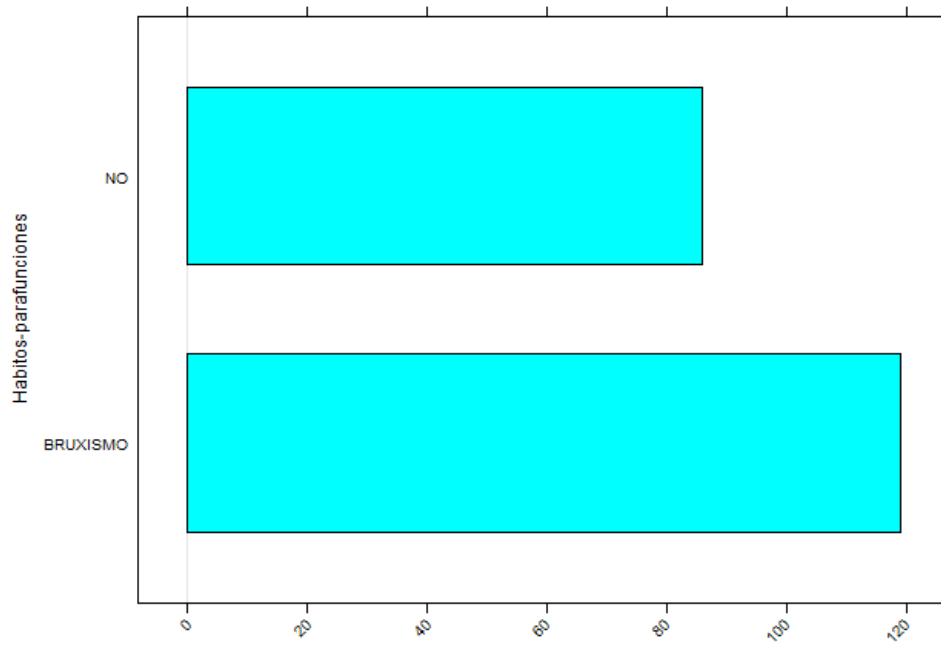
- Class 1: No systemic illness. Patient healthy.
 Class 2: Patient with mild degree of systemic illness, but without functional restrictions, e.g., well-controlled hypertension.
 Class 3: Patient with severe degree of systemic illness which limits activities, but does not immobilize the patient.

- Class 4: Patient with severe systemic illness that immobilizes and is sometimes life threatening.
 Class 5: Patient will not survive more than 24 hours whether or not surgical intervention takes place.

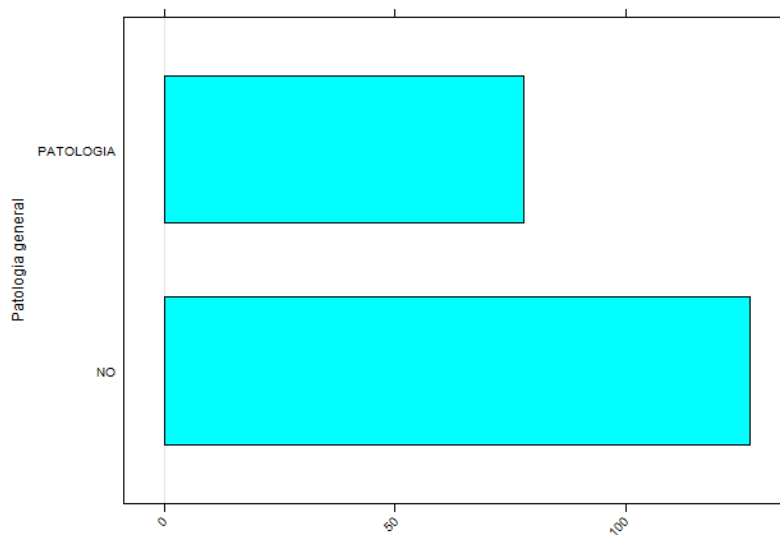
www.aahp.org/clinical/physicianstatus.htm

ANEXO IV. TABLAS DE FRECUENCIA DE LAS VARIABLES

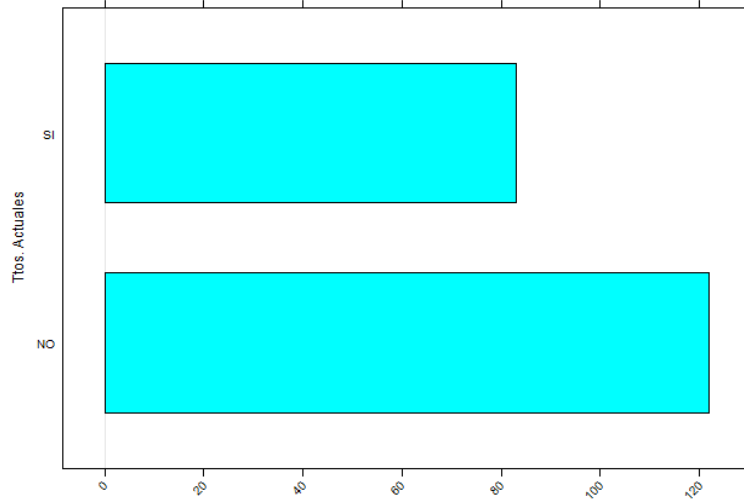
ESTUDIADAS



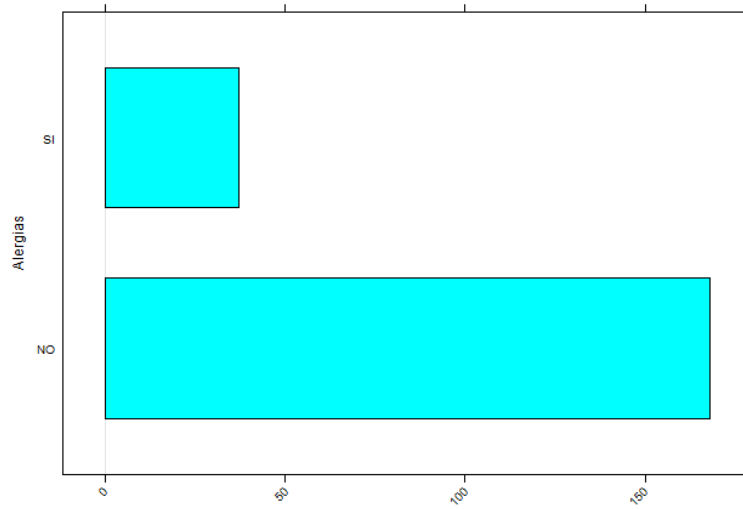
Gráfica 5: análisis de frecuencia para la variable parafunciones



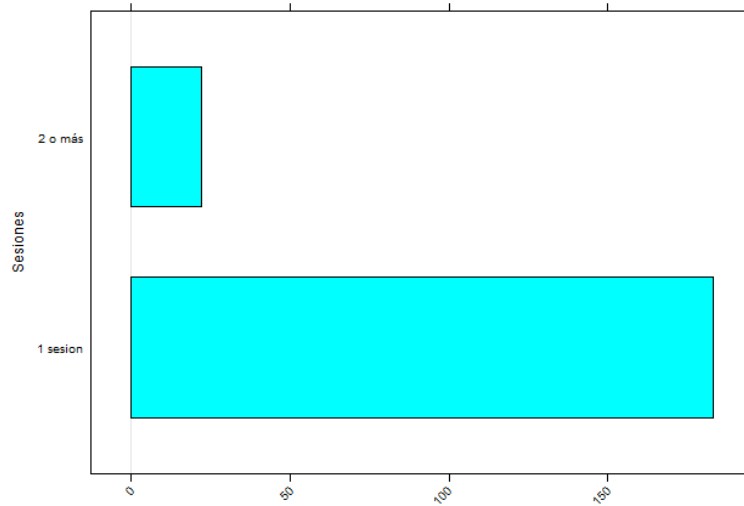
Gráfica 6: análisis de frecuencia para la variable patología sistémica general



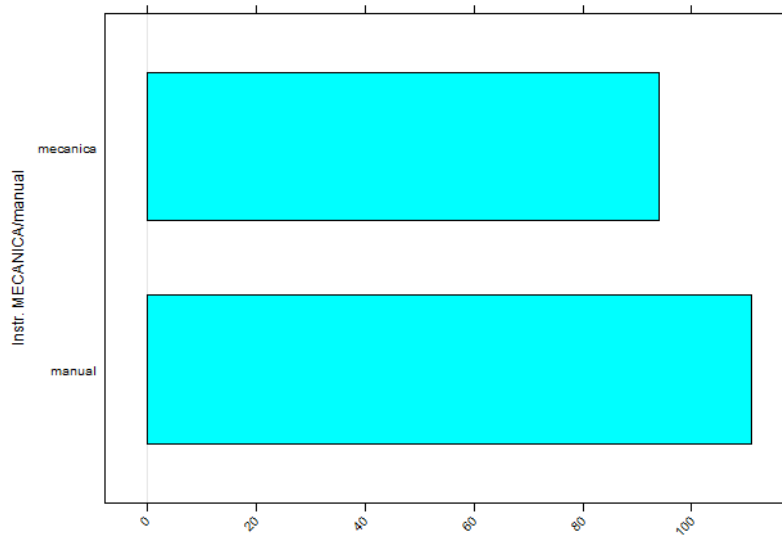
Gráfica 7: análisis de frecuencia para la variable tratamientos farmacológicos actuales



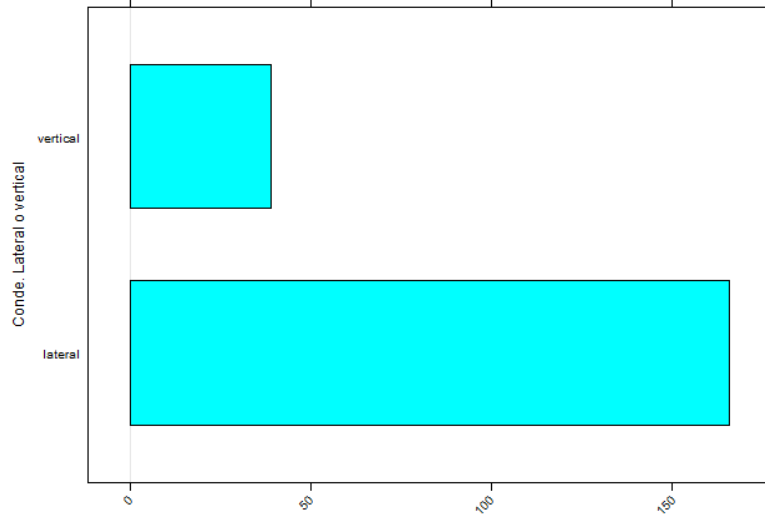
Gráfica 8: análisis de frecuencia para la variable existencia de alergias previas



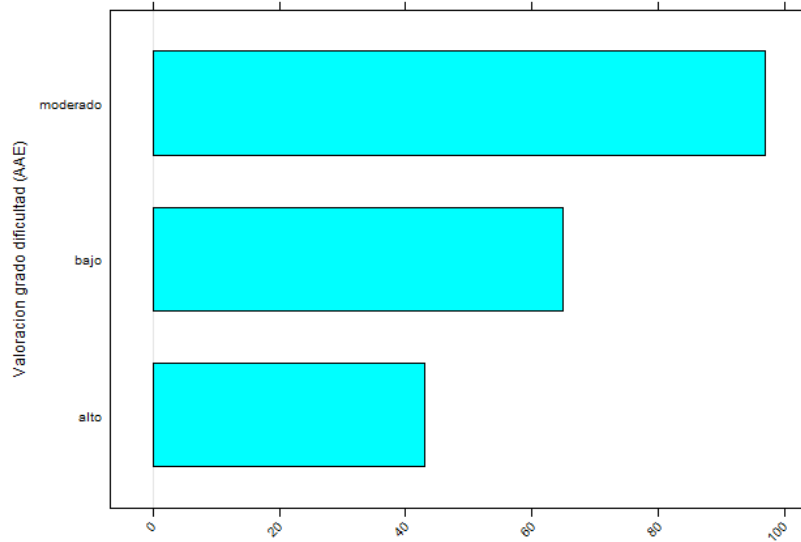
Gráfica 9: análisis de frecuencia para la variable número de sesiones utilizadas para el tratamiento de conductos



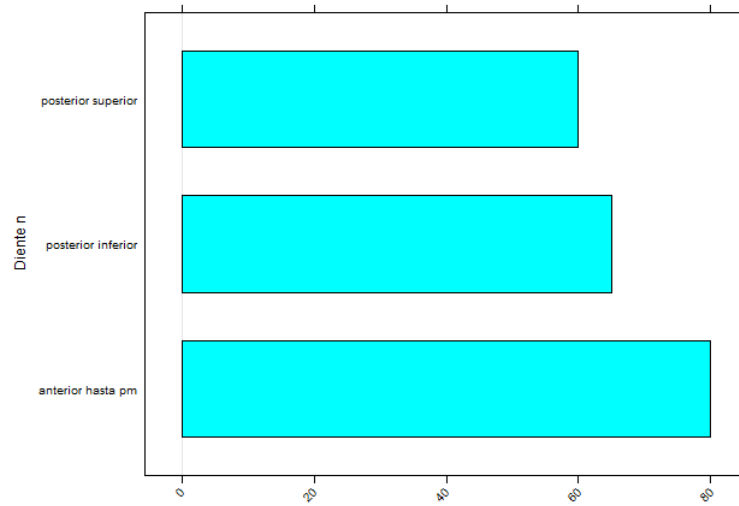
Gráfica 10: análisis de frecuencia para la variable tipo de instrumentación del conducto radicular



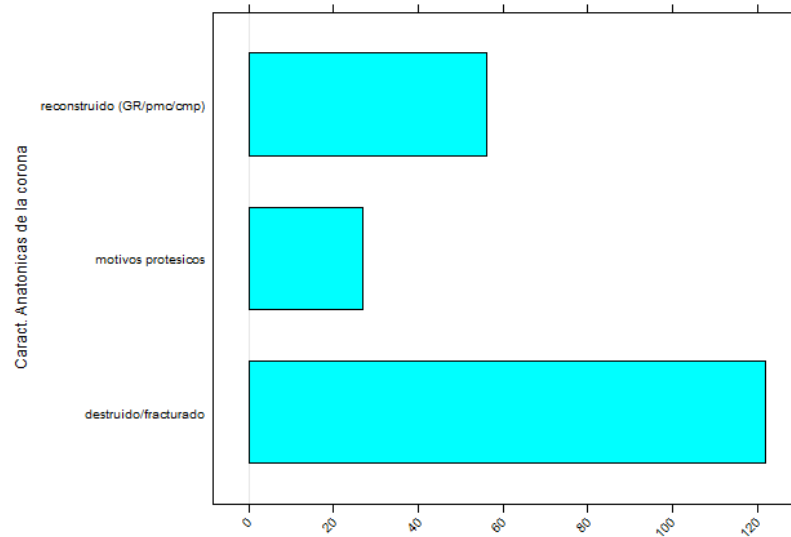
Gráfica 11: análisis de frecuencia para la variable tipo de condensación de gutapercha durante el tratamiento de conductos



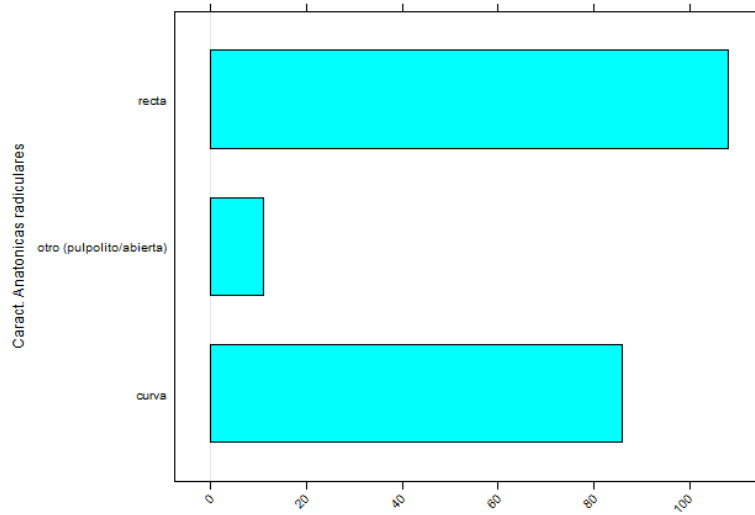
Gráfica 12: análisis de frecuencia para la variable grado de dificultad del tratamiento según la AAE



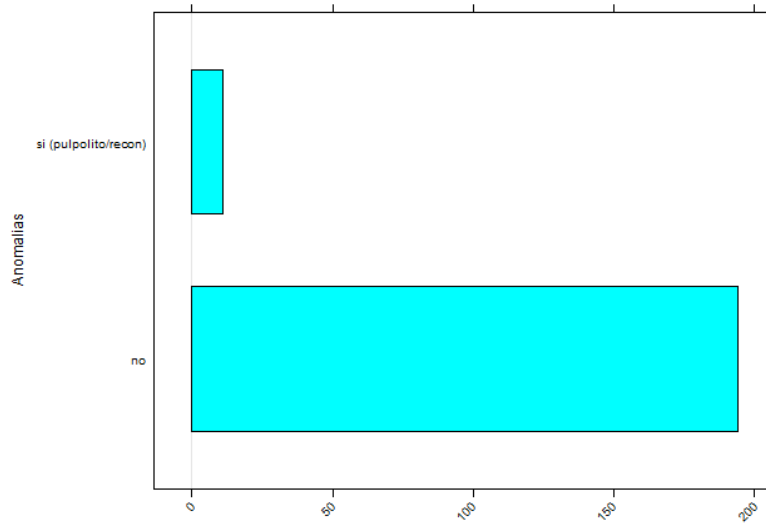
Gráfica 13: análisis de frecuencia para la variable localización del diente donde se realizó el tratamiento



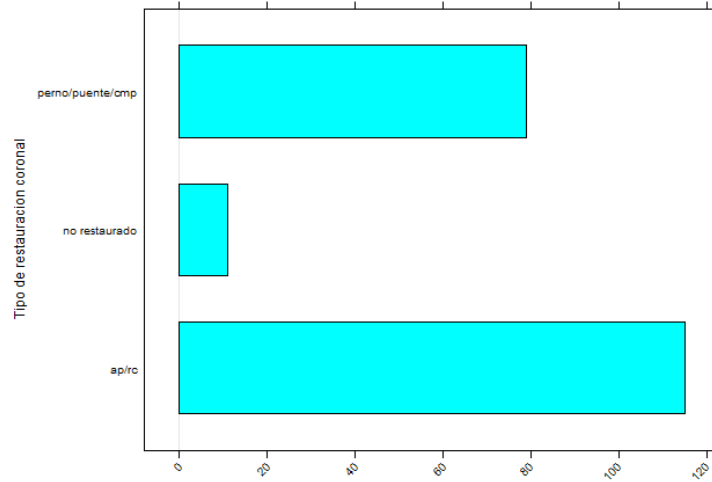
Gráfica 14: análisis de frecuencia para la variable características anatómicas coronales del diente tratado



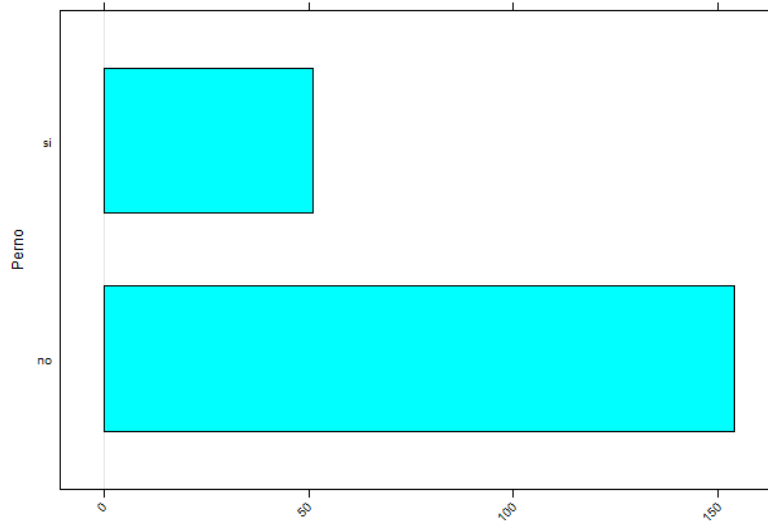
Gráfica 15: análisis de frecuencia para la variable características anatómicas radiculares del diente tratado



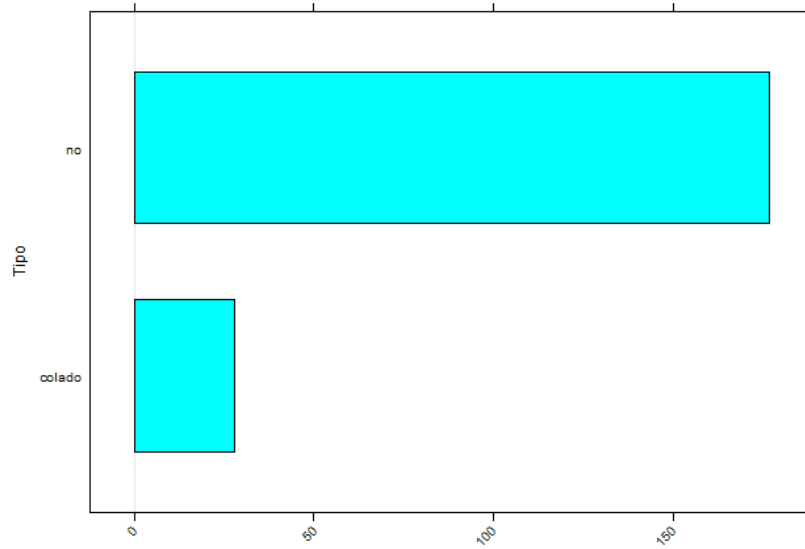
Gráfica 16: análisis de frecuencia para la variable existencia de anomalías anatómicas



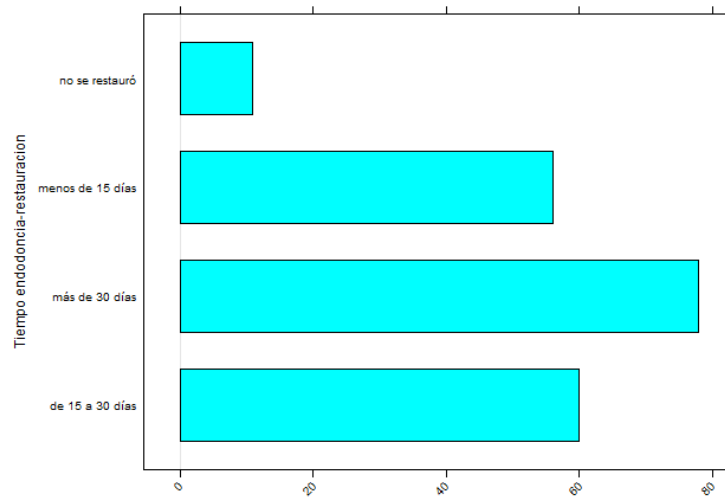
Gráfica 17: análisis de frecuencia para la variable tipo de restauración posterior al tratamiento de conductos



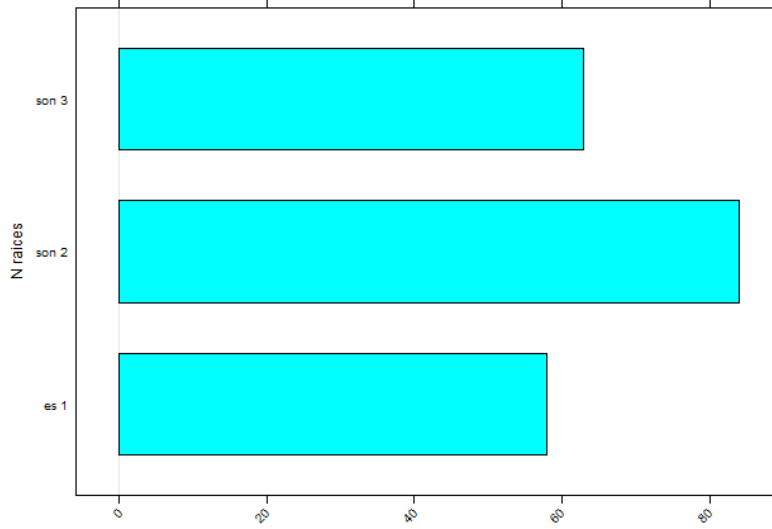
Gráfica 18: análisis de frecuencia para la variable colocación de poste radicular



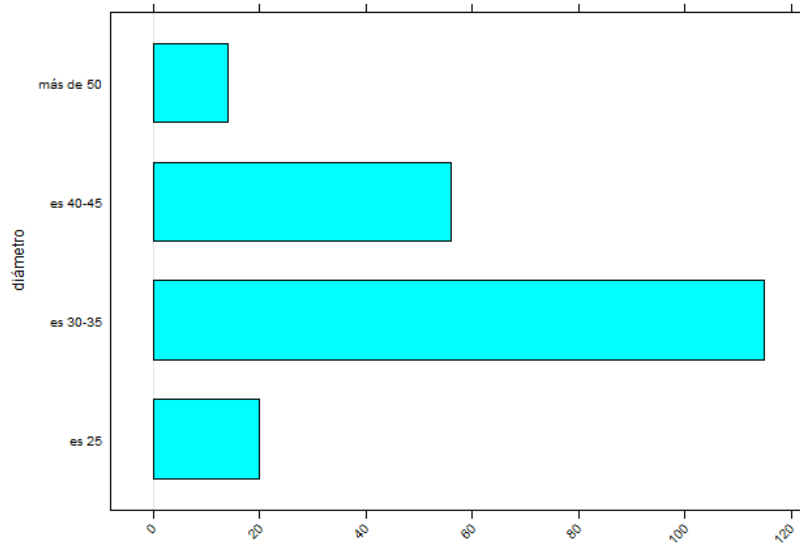
Gráfica 19: análisis de frecuencia para la variable tipo de poste intraradicular utilizado para la restauración del diente endodonciado



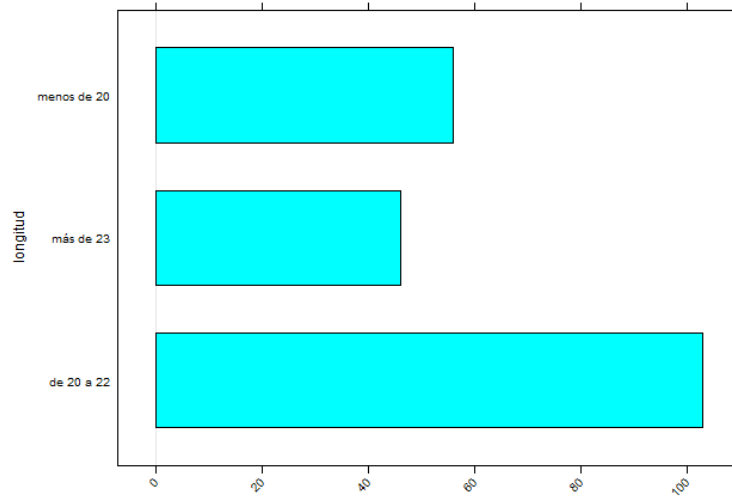
Gráfica 20: análisis de frecuencia para la variable tiempo desde el tratamiento de conductos hasta la restauración coronal



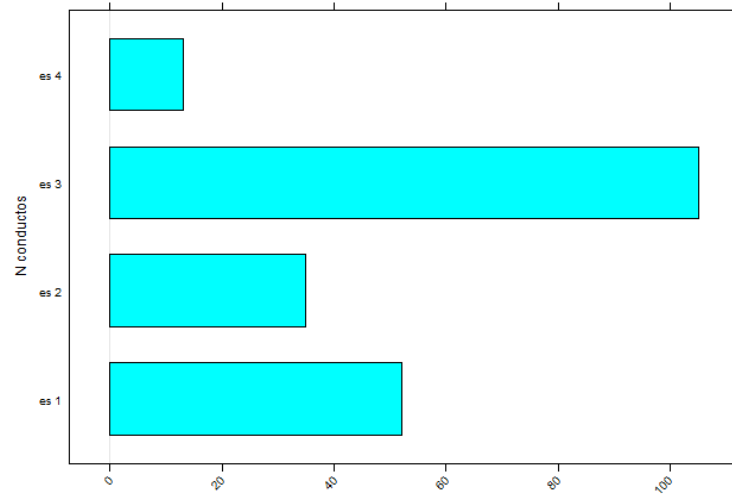
Gráfica 21: análisis de frecuencia para la variable número de raíces identificadas durante el diagnóstico



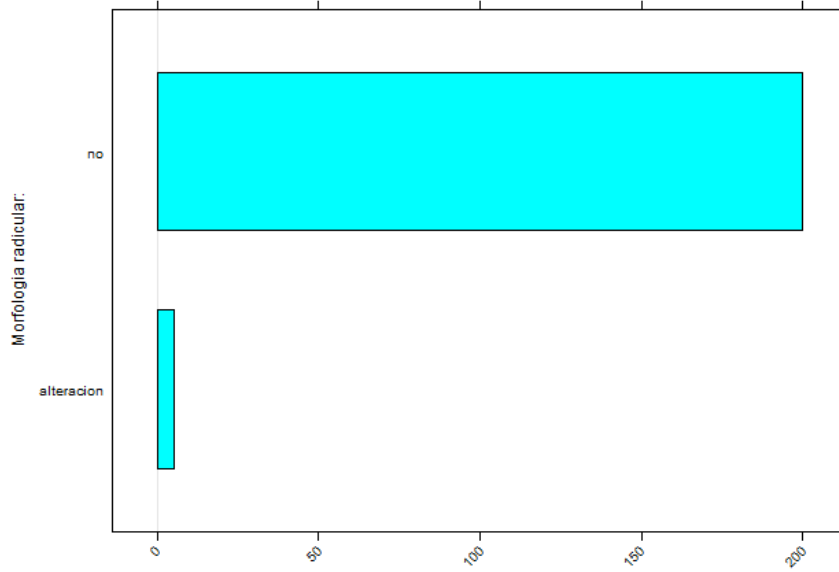
Gráfica 22: análisis de frecuencia para la variable diámetro final apical



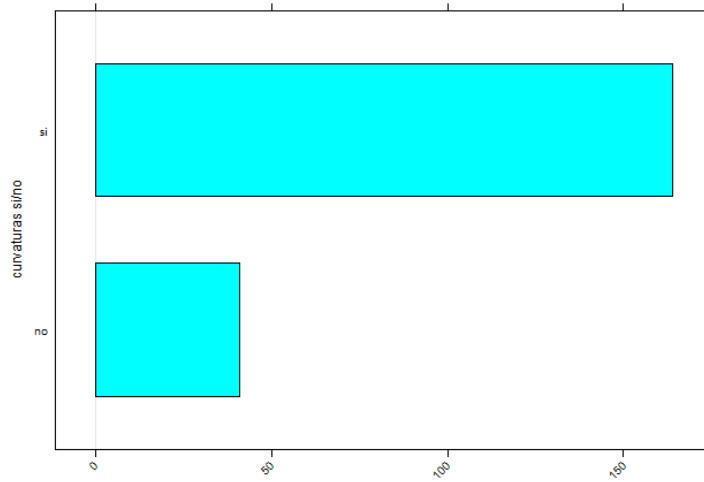
Gráfica 23: análisis de frecuencia para la variable longitud de trabajo final



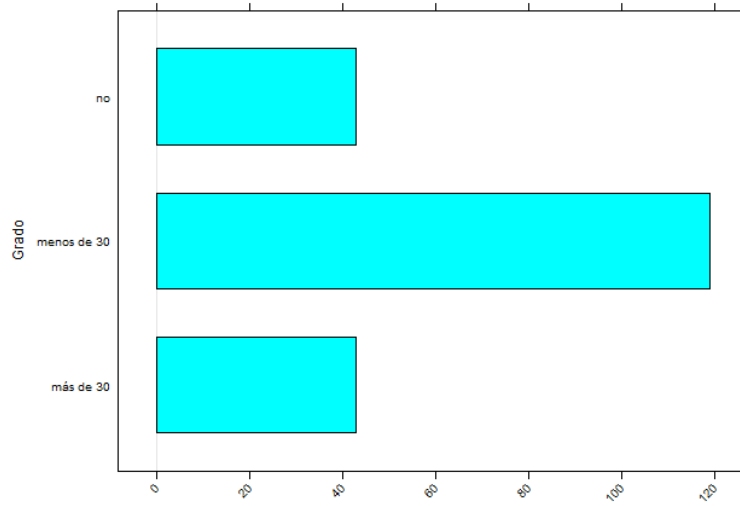
Gráfica 24: análisis de frecuencia para la variable número de conductos tratados



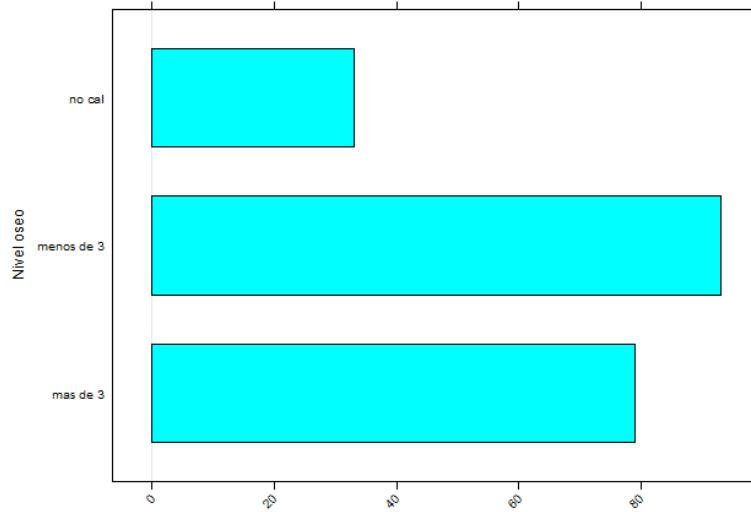
Gráfica 25: análisis de frecuencia para la variable morfología radicular durante el tratamiento



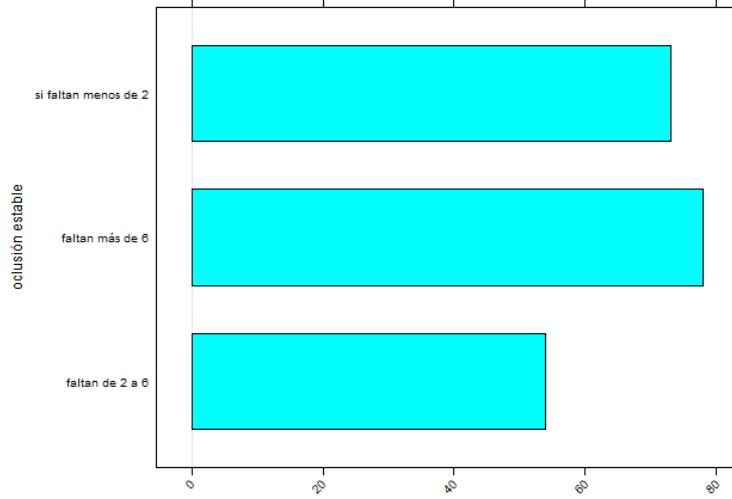
Gráfica 26: análisis de frecuencia para la variable existencia de curvaturas radiculares



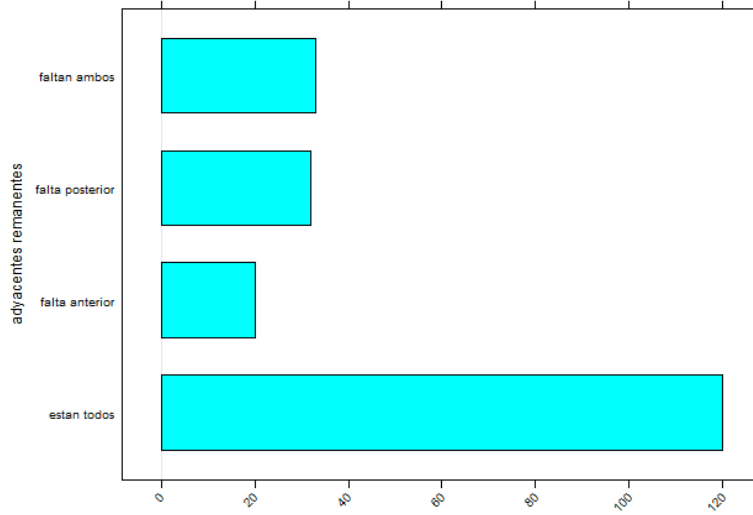
Gráfica 27: análisis de frecuencia para la variable grado de curvatura radicular



Gráfica 28: análisis de frecuencia para la variable nivel óseo del diente tratado



Gráfica 29: análisis de frecuencia para la variable oclusión estable



Gráfica 30: análisis de frecuencia para la variable dientes adyacentes remanente

Abstract

ABSTRACT

INTRODUCTION: We describes the application of Artificial Intelligence (AI) techniques, specifically Case-Based Reasoning (CBR), to predict the failure of root canal therapy.

METHODS: The study was performed on 205 patients who experienced failure in root canal therapy, specifically by VRF. We determined the variables that could influence their appearance and the level of significance, primarily by applying statistical tests (Chi square, Fischer exact test, and Monte Carlo simulation), before creating the CBR to make predictions.

RESULTS: The creation of a CBR system that integrates Bayesian networks in the reuse phase presented a treatment failure predictive capacity of 89%. This percentage improves on the results obtained by the sole statistical analysis of individual variables.

CONCLUSIONS: CBR systems were effective in predicting endodontic failures caused by VRF. These CBR systems provide valuable information that can be used to devise a tailored therapeutic approach.

INTRODUCTION

Endodontic therapy failure, despite following the correct treatment protocols, ranges between 9 and 10% today [118]. Failure leads to tooth mutilation. The clinical significance of these failures is very high, therefore knowledge of the factors that may influence its occurrence continues to be of particular interest. To date, treatment outcome has only been predicted by statistical analysis, which is not reliable enough to determine treatment success.

Artificial Intelligence (AI) techniques, and in particular the Case-Based Reasoning (CBR) system are predictive techniques that solve complex problems through the adaptation of solutions previously applied in similar cases [3, 4, 9-11, 13, 149, 185, 186]. Its application in medicine has spread to areas such as the study of cancer and Alzheimer's disease, or to prediction in leukemia [3, 4, 9-11, 13, 149, 185, 186]. These techniques have not yet been applied to endodontic therapy, although they could be very useful [187] [188-191].

In addition, AI techniques and the creation of specific CBR systems for each problem would serve as a valuable tool to assist the clinician in the planning and selection of cases.

The leading causes of endodontic failure are VRF (40%) and bacterial recolonization in the root canal system (10%) [118, 124].

The objective of this study was to predict endodontic failures due to vertical root fractures using CBR.

We started from the null hypothesis, which stated that endodontic failures could not be predicted using CBR.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted at the Faculty of Dentistry (endodontic department) in the Complutense University of Madrid in collaboration with the Faculty of Science in the University of Salamanca. Patients were selected according to the following inclusion criteria:

- Patients diagnosed in the last 10 years.
- Treatment failure because of crown-root fracture.
- Patients who kept their follow-up appointments at three, six and 12 months.

A total of 205 patients were selected. In accordance with the Declaration of Helsinki, all of them received and signed an informed consent form that explained the objectives of the study and how their personal data would be managed.

The selected patients were evaluated by a single operator who collected the clinical and radiological data from each patient's history. The variables studied were collected in the clinical history of patients who underwent endodontic treatment.

The studied variables were:

- Variables related to the patient: age, gender, habits or parafunctions, existence of general systemic disease, current drug treatments and possible allergies.
- Variables related to the cause of treatment: patient referrer, reason for treatment (caries, prosthetic reasons, crown fractures, trauma...) and date of diagnosis.
- Variables related to the type of tooth treated and the doctor who carried out the treatment: first or second year resident doctor, prior evaluation of the difficulty of treatment as directed by the American Association of Endodontics (AAE), tooth type (front, back, top or bottom), crown characteristics (caries, restorations, fractures), root characteristics (diameter and morphology), degree of root curvature (EPA classification criteria), number of roots visible on the radiograph, presence or absence of coronal or root congenital anomalies, periodontal health and prior mobility.
- Variables related to root canal treatment: type of anaesthesia used, isolation method (complete or incomplete), number of sessions used in the treatment, number of canals treated, instrumentation method, method of condensing the filling material.

- Variables related to coronal tooth restoration: time to restoration and restoration type, existence of screws, screw length and type.
- Failure signs and symptoms: pain, swelling, fistula, clinical or radiographic root fracture appearance, clinical or radiographic signs of a root crack, time to failure, and retreatment.

A total of 30 variables were analysed for each patient, based on the clinical and radiographic data of their history (Table 1)

Sex	Habits	General pathology	Treatments	Allergies	Day of treatment
Sessions	Instrumentation	Condensation	Anaesthesiology	AAE difficult	Tooth
Coronal anatomy	Root anatomy	Anomalies	Restoration type	Post	Post type
Time to restoration	Number of roots	Diameter	Longitude	Number of root canals	Radicular morphology
Curvature	Curvature degree	CAL	Time to failure	Occlusion	Adjacent remaining

Table 1. Variables

Data were coded to facilitate statistical analysis and analysed to progressively define a prediction system. A Chi Square statistical test with Yates correction and a Monte Carlo modification for these variables were used to analyse the relevance of the

extracted variables. We then created a suitable CBR that integrated a Bayesian network during the stage of reuse based on Friedman's studies [150]. The analysis of the causes, performed using a statistical test, facilitated the study of the automatic predictions made by the CBR system. A comparison of the predictive performance of the system based on CBR was carried out by modifying the techniques applied during the adaptation phase. During the reuse phase, we integrated the following techniques: Bayesian Network, Naive Bayes, AdaBoostM1, Bagging, DecisionStump, J48, IBK, JRip, LMT, Logistic, LogitBoost, OneR, SMO, and Stacking. We selected the Bayesian network because it performed the best. All of these techniques are different methods of implementing the CBR system to be tested to select which subsequently provides better predictive results for this problem. [146-148, 192, 193]

RESULTS

1. Statistical results

Based on our study, the variables that are more influential in endodontic failures due to crown-root fractures and/or new onset of periapical lesions are:

- a. Instrumentation.
- b. AAE difficult.
- c. Allergies.
- d. Tooth number.
- e. Root anatomy.
- f. Restoration type.
- g. Post.

- h. Post type.
- i. Time to restoration.
- j. Longitude.
- k. Number of root canals.
- l. Curvature.
- m. Adjacents remaining.

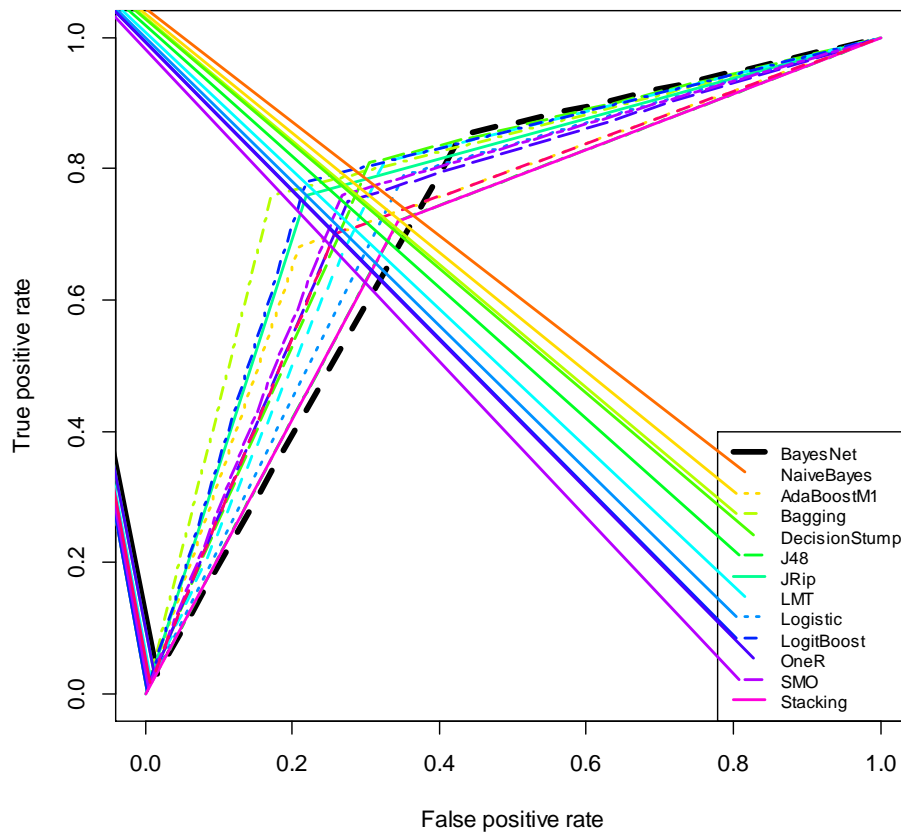
2. Results obtained by applying CBR.

This table shows the number of correct guesses obtained by each of the methods using the *leave one out* technique on the CBR system. The system's hit rate was 89%.

Bayes Net	145	NaiveBa yes	151	AdaBoos tM1	163	Bagging	154	DecisionSt ump	141	J48	158	IBK	152
JRip	147	LMT	160	Logistic	151	LogitBoost	153	OneR	141	SMO	148	Stack ing	105

Based on the results above, a representation was made with ROC curves that facilitate the analysis of different classifiers based on the area under their curves. The greater the height of the curve, the better the classifier and the fewer false negatives it produces (no extractions are predicted for successful cases). Figure 1 shows the ROC curve and it is

immediately clear that the Bayesian network is the one with the largest area under the curve and thus the reference technique.



The data provided by the CBR system (example in this table) are shown in tables similar to the one shown in the next table. The system computes a number between 0 and 1. The closer the number is to 0, the higher the predicted risk of failure. Conversely, the closer the number is to 1, the higher the expected success rate. In this study, the final results of the treatment were known and thus, we were able to verify whether or not the system's prediction was correct. Our CBR system missed only four predictions

obtaining a success rate of 89%. Among these, none was a false positive; no unconfirmed failure was ever predicted.

BayesNet	NaiveBayes	AdaBoostM1	Bagging	DecisionStump	J48	IBk	JRip	LM	Logistic	LogitBoost	OneR	SMO	Stacking	éxito
0,182	0,008	0,065	0,191	0,295	0,083	0,005	0,012	0,001	0,001	0,046	0	0	0,493	0
0,182	0,005	0,028	0,105	0,295	0,083	0,005	0,012	0,000	0,011	0,018	0	0	0,493	0
0,182	0,056	0,075	0,092	0,295	0,083	0,005	0,012	0,005	0,126	0,043	0	0	0,493	0
0,166	0,033	0,166	0,217	0,295	0,089	0,005	0,012	0,003	0,010	0,165	0	0	0,493	0

DISCUSSION

The CBR system created based on the obtained data was able to predict the success or failure of root canal therapy. The initial null hypothesis was therefore rejected.

Before programming the CBR system, a statistical study of the analysed variables is required. We found that the prior existence of very severe dental caries, the use of the lateral condensation technique, and the use of an incomplete isolation increased the likelihood of root canal therapy failure by crown-root fractures and/or recontamination of the canal system. These findings coincide with previous research by Carratu and Ravindranath [159-161] [162-165] [166].

In our study, we used AI, or more specifically the CBR system, to predict endodontic failure instead of classical statistics. We chose this system because it works very similarly to the way a human expert would: it uses the experience gained through past cases, and updates and "learns" as new cases are introduced. Various AI techniques for the selection of the most similar cases can be incorporated, reused and revised in the different stages of the reasoning cycles. Statistical tests provide a static prediction of each problem: there is no advance or expansion until a new set of data has been statistically analysed. In addition, parametric tests require compliance with a number of conditions that do not always correspond to reality. They are nonetheless applied, and consequently, the results obtained are not always reliable [146-148]. ANOVA is one of

the most used statistical tests in the field of bioinformatics [24-25] [26], even though we cannot always take the assumptions made about the data distribution as certain.

CBR systems are under constant review, learning from the solutions offered for every problem and reusing past solutions to solve future problems. They have been previously used in the medical sphere, showing a higher predictive value than traditional statistics and therefore greater clinical value [32] [149].

In our study we used Bayesian networks to adapt retrieved cases in the reuse phase, although different techniques were used to compare performance. In the reuse phase, different algorithms were applied, obtaining the best results for a Bayesian network, based on the ROC curves and the type of study variables. Bayesian networks have been described as the techniques applied within CBR systems to solve problems in which there are many variables to consider and different values for each variable [148].

This is the case for endodontic failures, where there are many variables to consider. These variables may have very different values that are not easily grouped, nor is it possible to obtain sufficiently numerous groups [150].

In our work, the CBR created with Bayesian networks showed a high predictive power, as evidenced by the 89% hit rate, which is higher than that demonstrated by classical statistics studies. Therefore, based on these predictions, we could predict in

real time whether our treatments would fail or succeed with an error rate of 11%. Furthermore, these errors were never false positives, i.e. the system never forecasted a failure that did not occur. Therefore, in the case of an erroneous prediction, no clinical failures or unnecessary extractions would be anticipated.

Our study population was comprised of a total of 205 cases selected from our medical files to verify that CBR systems can produce predictions with a high hit rate in situations where statistics would not be able to produce direct answers. This study found that CBR systems can make predictions based on a very small number of cases studied and can predict the results of root canal therapy with 89% confidence.

As for the selected variables in this study, they were all those normally collected from patients who undergo root canal therapy. These variables were selected because they gave the greatest amount of information on the patient, the treatment, and the operator. In other words, we selected the maximum number of variables, which would help the CBR system make more reliable predictions.

In our opinion, this study opens the door for the use of CBR in the initial diagnosis of cases, allowing the clinician to incorporate a number of patient and treatment variables for an immediate prediction of their evolution, and thus facilitate case selection for root canal treatment.

In **conclusion**, AI and CBR systems can predict the success or failure of root canal therapy with better hit rates than would be obtained by statistical analysis of the individual variables. Also, CBR systems that integrate a Bayesian network in their reuse phase offer greater predictive power (89%) than the rest of the systems without producing false positives. Finally, CBR systems can assist the clinician in the selection of a case or in changing their treatment decisions based on pretreatment data.

We believe that further studies are necessary to expand the sample size so as to increase the predictive power of the CBR system and to standardize their use in the prediction of endodontic failure.

Resumen

INTRODUCCIÓN: Las técnicas bioinformáticas actuales ofrecen la posibilidad de predecir la respuesta ante diferentes sucesos sanitarios, en tiempo real con mayor precisión y adaptación que los sistemas estadísticos clásicos. Este tipo de sistemas se adapta constantemente a los nuevos problemas y no necesita ser reconfigurado por un experto humano ofreciendo por tanto, una respuesta más dinámica y precisa que la estadística clásica.

Las fracturas radiculares verticales (FVR), suponen un alto número de fracasos postendodónticos con un pronóstico muy malo, generalmente la extracción del diente. Existen muchos factores del tratamiento de conductos que aumentan la aparición de FVR algunos de ellos son controlables por el clínico y otros no. Por tanto, hemos aplicado técnicas bioinformáticas, en concreto Sistemas de Razonamiento Basados en Casos para predecir, en función de variables del paciente y del tratamiento la aparición o no de fracturas verticales radiculares posteriores a los tratamientos de conductos. De este modo, se puede predecir de una forma más fiable el riesgo de FVR posterior al tratamiento y modificar las variables técnicas en función del paciente.

MATERIAL Y MÉTODO: El estudio se realizó sobre 205 pacientes. 105 pacientes cuyos dientes endodonciados tuvieron que ser extraídos por la aparición de FVR y 100 pacientes control cuyas endodoncias no habían fracasado en más de 5 años. Se determinaron las variables que podían influir en su aparición y su nivel de

significación, aplicando primeramente tests estadísticos: Chi cuadrado, test exacto de Fischer y simulación de Monte Carlo), y posteriormente se creó el CBR. Se utilizaron en la fase de reutilización distintos algoritmos de predicción y en base a las curvas ROC, se estableció el que mayor poder de predicción ofrecía. A continuación, se introdujeron todos los datos dejando un caso como caso control y ofreciendo el resto de los pacientes como comprobación del sistema.

RESULTADOS: Los test estadísticos utilizados indicaron que la instrumentación mecánica, la oclusión inestable y el grado de dificultad del tratamiento eran las variables que más influían en el aumento de la incidencia de aparición de fracturas verticales radiculares posteriores al tratamiento de conductos.

Los test estadísticos previos y necesarios para la creación del CBR, señalaron que la utilización de redes bayesianas en la fase de implementación del CBR presentó una capacidad predictiva para el fracaso de los tratamientos del 89%, superior a la de los tests estadísticos empleados. El sistema no ofreció falsos positivos, es decir, no se predijeron extracciones que no fueran necesarias.

CONCLUSIONES: Los sistemas CBR resultaron más eficaces que los test estadísticos para predecir los fracasos endodónticos producidos por fracturas verticales radiculares. Estos sistemas CBR ofrecen una información valiosa para planificar el tratamiento de forma adecuada.

El estudio de las variables del paciente y de la simulación de distintas variables técnicas del tratamiento previas al mismo mediante herramientas bioinformáticas y CBR ayuda al clínico a modificar el tratamiento de conductos e individualizarlo.

Bibliografía

1. Glez-Pena, D., et al., *geneCBR: a translational tool for multiple-microarray analysis and integrative information retrieval for aiding diagnosis in cancer research*. BMC Bioinformatics, 2009. **10**: p. 187.
2. Kolodner, J., *Case-based Reasoning*, ed. M. Kaufmann. 1993, San Mateo.
3. Corchado, J.M., et al., *Model of experts for decision support in the diagnosis of leukemia patients*. Artif Intell Med, 2009. **46**(3): p. 179-200.
4. Joyanes, L., et al., *Knowledge Management*. 2001, Salamanca: University of Paisley.
5. Shortliffe, E.H. and J.J. Cimino, *Biomedical informatics: computer applications in health care and biomedicine*. 2006, New York: Springer.
6. Tapia, J., *Arquitectura Multiagente para Entornos de Inteligencia Ambiental*. 2009, Universidad de Ciencias de Salamanca: Salamanca.
7. Watson, I. and F. Marir, *Case-Based Reasoning: A Review*. Cambridge University Press. The Knowledge Engineering Review, 1994. **9**(3).
8. Kolodner, J., *Maintainig organization in a dynamic long-term memory*. Cognitive Science, 1983. **7**: p. 243-280.
9. Kolodner, J., *Reconstructive memory a computer model*. Cognitive Science, 1983. **7**(281-328).
10. Corchado, J.M., et al., *Intelligent Environment for Monitoring Alzheimer Pattients*. Decision Support Systems, 2007.

11. Corchado, J.M. and R. Laza, *Constructing Deliberative Agents with Case-based Reasoning Technology*. *Internacional Journal of Intelligent Systems*, 2003. **18**(12): p. 1227-1241.
12. Corchado, J.M., et al., *Model of experts for decision support in the diagnosis of leukemia patients*. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2009(46): p. 21.
13. Corchado, M., et al., *[The diagnostic spectrum in a series of 100 patients with hepatomegaly due to stasis]*. *Aten Primaria*, 1989. **6**(5): p. 363-4.
14. Vera, V., A. Barbero, and E. García, *A case-based Reasoning System for Monitoring the Longevity of Dental Restorations*. *Computing and Information Systems Journal*, 2002. **9**(2): p. 14.
15. Van den Braden, M., et al., *Integrating case-based reasoning with an electronic patient record system*. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2011. **51**: p. 117-123.
16. Armengol, E., *Classification of melanomas in situ using knowledge discovery with explained case-based reasoning*. *Artif Intell Med*, 2010. **51**(2): p. 93-105.
17. Simpson, R.L., *A computer model of case-based reasoning in problem solving: an investigation in the domain of dispute mediation*. Technical Report GTI-ICS, 1985.
18. Editorial, G., *Advances in Case-based reasoning in the health sciences*. *Artif Intell Med*, 2011. **51**: p. 75-79.
19. Fraile, J.A., et al., *Applying wearable solutions in dependent environments*. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2010. **14**(6): p. 1459-67.
20. Bichindaritz, I. and S. Montani, *Advances in case-based reasoning in the health sciences*. *Artif Intell Med*, 2011. **51**(2): p. 75-9.

21. Aamodt, A. and E. Plaza, *Case-Based Reasoning foundational issues. Methodological Variations and Systems Approaches*. Artificial Intelligence Communications, 1994. **7**(1): p. 39-59.
22. Watson, I., *Applying case-based Reasoning: Techniques for Esterprise System*, ed. M. Kaufmann. 1997.
23. Lopez, B., et al., *eXiT*CBR: A framework for case-based medical diagnosis development and experimentation*. Artif Intell Med, 2010. **51**(2): p. 81-91.
24. Aha, D., D. Kibler, and M.D. Albert, *Instance-based Learning Algoritms*. Machine Learning, 1991. **6**(1).
25. Allemange, D., *Review of EWCBR-93*. Artificial Intelligence Communications, 1993. **7**(1).
26. Kristian, J., *Hammond: Case-based Planning*. Academic Press. 1989.
27. Hammond, K.J., *Case-Based Planning*. Academic Press, 1989.
28. Goodman, M., *CBR in Battle Planning*, in *Proceedings of the DARPA Case-Based Reasoning Workshop*, Hammond, Editor. 1989, Morgan Kaufmann Publisher: San Francisco.
29. Simodius, E., *Using case-based reasoning for customer technical support*. IEEE Trans Inf Technol Biomed, 1992. **7**(5): p. 7-13.
30. Veloso, M.M. and J. Carbonell, *Derivational analogy in PRODIGY*. Machine Learning, 1993. **10**(3): p. 249-278.
31. Klein, G.A. and L. Whitaker, *Using Analogues to Predict and Plan*. Proceeding of the Workshop on Case-Based Reasoning, 1988: p. 224-232.

32. Yang, X., et al., *Kinase inhibition-related adverse events predicted from in vitro kinome an clinical trial data*. Pattern Recognition Letter, 2010. **29**(6): p. 376-384
33. Ben-Gal, I., *Encyclopedia of Staticts in Quality and Reliability*. 2007.
34. Berger, J.O. and R.L. Wolpert, *The Likelihood Principle*. *SS gupta*. 1988: Institute of Mathematical Statics.
35. Bernardo, J.M. and C.A. Hayward, *Bayesian Reference Analysis, in A postgraduate Tutorial Course Universitat Valencia*. 1984: Valencia.
36. Bayes, T., *An essay towards solving problem in the doctrine of chances*. Philosophical Transactions of the Royar Society of London, 1763. **53**: p. 370-418.
37. Cox, D.R. and D.V. Hinkley, *Theoretical Statistics*, ed. C. Hall. 1974, London.
38. Lindley, D.V., *Introduction to Probability and Statistics from a Bayesian Viewpoint Part-1 Probability*. Cambridge University Press. The Knowledge Engineering Review, 1965.
39. lindley, D.V., *Introduction to Probability and Statistics from a Bayesian Viewpoint part. 2 - inference*. Cambridge University Press. The Knowledge Engineering Review, 1965.
40. Box, G.E.P. and G.C. Tiao, *Bayesian Inference in statistical analysis*. . 1973, London: Addison- Wesley: Reading, M.A. .
41. Raiffa, H. and R. Schlaifer, *Applied statistical decision theory*. Harvard University Press, 1961.

42. Ederer, F., *Gerome Cornfield's contributions to the Conduct of Clinical Trial*. Biometrics, 1982. **38**(Suppl.): p. 25-32.
43. Gerome, *Gerome Cornfield's Publication: Contributions to the Literature as they appeared from 1941 through 1980*. Biometrics, 1982. **38**(Suppl.): p. 47-52.
44. Halperin, M., D.L. Demets, and J.H. Ware, *Early Methodological Development for Clinical Trials at The National Heart. Lung and blood Institute*. Statistics in Medicine, 1990. **9**(8): p. 881-892.
45. Zelen, M., *The Contribution of Gerome Cornfield to the Theory of Statistics*. Biometrics, 1982. **38**(Suppl.): p. 11-15.
46. Spiegelhalter, D.J. and A.F.M. Smith, *Decision Analysis and Clinical Decision. Inperspectives in Medical Statistics* Academic Press London, 1981: p. 103-131.
47. Armitage, P. and D. Berry, *Statistical Methods in Medical Research* 1971, Oxford: Blackwell.
48. Bernardo, J.M., *The Valencia Story*. ISBA Newsletter, 1999. **6**: p. 7-11.
49. Armitage, P., *Trials and errors: the emergence of clinical statistics. The address of the president (with proceeding)*. journal of the Royal Statistical Society, 1983. **146**(4): p. 321-334.
50. Bernardo, J.M., et al., *Bayesian Statistics*. University Press: Valencia. 1980, Valencia. Spain.
51. Kadane, J.B. and N. Sdransk, *Towards a more Ethical Clinical Trial, in Bayesian Statistics, V*. University Press, Editor. 1980: Valencia, Spain. p. 329-346.

52. Smith, A.F.M., *Change-point problems: approaches and applications.*, in *Bayesian Statistics*, U.P. Valencia., Editor. 1980: Valencia. Spain. p. 83-98.
53. Pocock, S.J., D.G. Cook, and A.G. Shaper, *Analysing Geographics variation in Cardiovascular Mortality: Methods and Results (with discusion)*. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1982. **145**: p. 313-341.
54. Carter, R.L. and B.J.N. Blight, *Bayesian Change Points Problem with an Application to the Predition and Detection of Ovulation in women*. *Statistician*, 1983. **32**(1-2): p. 229-230.
55. Smith, A.F.M., et al., *Monitoring Kindney-Transplante Patients*. *Statistician*, 1983. **32**(1-2): p. 46-54.
56. Steve, G. and A. Rossimori, *Prescreening of Beta-Talasemia carriers. A Comparision between Bayesian and Other approaches.*, *Statistician*, 1983. **32**(1-2): p. 233-239.
57. Albert, J.H., *Bayesian Stimation Methods for Incomplete two-way Contingency Tablets Using Prior Beliefs of Association*, in *Bayesian Statics. Vol 2*. 1985, Elsevier/North-Holland: Amsterdam. p. 589-602.
58. Ameen, J.R.M. and P.J. Harrison, *Normal Discount Bayesian Models*, in *Bayesian Statistics Vol 3*. 1985, Elsevier/Noth-Holland: Amsterdam. p. 271-298.
59. Bernardo, J.M., et al., *Bayesian Statistics Volume 2*. 1985, Amsterdam: Elsevier/Nord-Jolland.
60. Chaloner, K.M. and G.T. Duncan, *Assessment of a beta-prior distribution PM-elicitation*. *Statistician*, 1983. **32**(1-2): p. 174-180.

61. Geisser, S., *On the Prediction of Observables: a selective update*, in *Bayesian Statistics vol. 2*. 1985, Elsevier/North-Holland: Amsterdam. p. 203-230.
62. Spiegelhalter, D.J. and R.P. Knill-Jones, *Statistical and Knowledge-Based approaches to Clinical Decision-Support Systems, with an application to Gastroenterology (with discussion)*. Journal of the Royal Statistical Society, 1984. **147**(1): p. 35-77.
63. Racine, A., et al., *Bayesian Methods in Practice: Experiences in the pharmaceutical Industry (with discussion)*. Applied Statistics 1986. **35**: p. 93-150.
64. Tsutakawa, R.K., G.L. Shoop, and C.J. Marienfeld, *Empirical Bayes Stimulation of Cancer Mortality Rates*. Statistics in Medicine, 1985. **4**(2): p. 201-212.
65. Berry, D., *Interim Analyses in Clinical Trials: Classical vs Bayesian Approaches*. Statistics in Medicine, 1985. **4**(4): p. 521-526.
66. Berry, D. and L.M. Pearson, *Optimal Designs for Clinical Trials with dichotomous Responses*. Statistics in Medicine, 1985. **4**(4): p. 497-508.
67. Smith, A.F.M., et al., *Progress with numerical and Graphical Methods for Practical Bayesian Statistics* The Statistician, 1987. **36**: p. 75-82.
68. Stewart, L., *Hierarchical Bayesian Analysing Using Monte-Carlo Integration: Computing Posterior Distributions when there are many Possible Models*. The Statistician, 1987. **36**: p. 211-219.
69. Van Dijk, H.K., J.P. Hop, and A.S. Louter, *An Algorithm for the Computation of Posterior Moments and Densities using Simple Importance Sampling*. The Statistician, 1987. **36**: p. 83-90.

70. Gilks, W.R., *Some Applications of Hierarchical Models in Kidney Transplantation* The Statistician, 1987. **36**: p. 127-136.
71. Grieve, A.P., *Applications of Bayesian Software: two examples*. The Statistician, 1987. **36**: p. 283-288.
72. Spiegelhalter, D.J., *Coherent Evidence Propagation in Expert Systems*. The Statistician, 1987. **36**: p. 201-210.
73. Crichton, N.J. and P.A. Emerson, *A Probability-Based Aid for Teaching Medical Students a Logical approach to Diagnosis*. Statistics in Medicine, 1987. **6**(7): p. 801-811.
74. Crichton, N.J., J.G. Fryer, and C.C. Spicer, *Some Point of the Use of "Independent Bayes" to diagnose acute abdominal pain*. Statistics in Medicine, 1989. **6**(8): p. 945-959.
75. Hughes, M.D. and S.J. Pocock, *Stopping Rules and Estimation Problems in clinical trials*. Statistics in Medicine, 1988. **7**(12): p. 1231-1242.
76. Jones, R.H. and M.W. McClatchey, *Beyond Sensitivity, Specificity and Statistical Independence*. . statistics in Medicine, 1988. **7**(12): p. 1289-1295.
77. Marshall, R.J., *Bayesian Analysis of Case-Control studies*. Statistics in Medicine, 1988. **8**: p. 1023-1024.
78. Crichton, N.J. and J.P. Hinde, *Correspondence Analysis as a Screening Method for indicators for Clinical Diagnosis*. Statistics in Medicine, 1989. **8**(11): p. 1351-1362.
79. Linnet, K., *Assessing Diagnostic Tests by a Strictly Proper Scoring Rule* Statistics in Medicine, 1989. **8**(5): p. 609-618.

80. Habbema, J.D., et al., *Analysing Clinical Decision Analyses*. *statistics in Medicine*, 1990. **9**(11): p. 1229-1242.
81. Lew, R.A. and P.S. Levy, *Stimation of Prevalence on the Basis of Screening Tests*. *Statistics in Medicine*, 1989. **8**: p. 1225-1230.
82. Taylor, J.M., *Models for the VIH infection and AIDS epidemic in the United States*. *Statistics in Medicine*, 1989. **8**(1): p. 45-58.
83. Taylor, J.M., et al., *Stimating the Distribution of times from HIV seroconversion to AIDS using Multiple Imputation. Multicentre AIDS cohort study*. *statistics in Medicine*, 1990. **9**(5): p. 505-514.
84. O'hagan, A., *Practical Bayesian Analysis of a simple logistic Regresion: Predicting corneal transplante*. *Statistics in Medicine*, 1990. **9**(10): p. 1091-1101.
85. Lim, L.L. and J. Whitehead, *Comparison of the Information in two lung fuction experiments*. *Statistics in Medicine*, 1989. **10**(Suppl.): p. 2209s-2215s.
86. Skene, A.M. and J.C. Wakefield, *Hierarclical Models for Multicentre Binary Response Studies*. *Statistics in Medicine*, 1990. **9**(8): p. 919-929.
87. Tubert, P. and B. Begaud, *Random models for margins of a 2 x 2 contingency table and application to pharmacovigilance*. *Stat Med*, 1991. **10**(6): p. 991-9.
88. Jarjoura, D. and E. Logue, *Variation in heart disease mortality across census tracts as a function of overdispersion and social class mixture*. *Stat Med*, 1990. **9**(10): p. 1199-209.
89. Desouza, C.M., *An empirical Bayes formulation of cohort models in cancer epidemiology*. *Stat Med*, 1991. **10**(8): p. 1241-56.

90. Mollie, A. and S. Richardson, *Empirical Bayes estimates of cancer mortality rates using spatial models*. Stat Med, 1991. **10**(1): p. 95-112.
91. Vacek, P.M., R.M. Mickey, and D.Y. Bell, *Application of a two-stage random effects model to longitudinal pulmonary function data from sarcoidosis patients*. Stat Med, 1989. **8**(2): p. 189-200.
92. Royston, P., *Identifying the fertile phase of the human menstrual cycle*. Stat Med, 1991. **10**(2): p. 221-40.
93. Helfenstein, U., et al., *The environmental accident at 'Schweizerhalle' and respiratory diseases in children: a time series analysis*. Stat Med, 1991. **10**(10): p. 1481-92.
94. Aalen, O.O. and E. Husebye, *Statistical analysis of repeated events forming renewal processes*. Stat Med, 1991. **10**(8): p. 1227-40.
95. Orav, E.J., et al., *Variance components and their implications for statistical information in medical data*. Stat Med, 1991. **10**(4): p. 599-616.
96. Rubin, D.B. and N. Schenker, *Multiple imputation in health-care databases: an overview and some applications*. Stat Med, 1991. **10**(4): p. 585-98.
97. Ashby, D., *Bayesian statistics in medicine: a 25 year review*. Stat Med, 2006. **25**(21): p. 3589-631.
98. Falush, D., M. Stephens, and J.K. Pritchard, *Inference of population structure using multilocus genotype data: linked loci and correlated allele frequencies*. Genetics, 2003. **164**(4): p. 1567-87.
99. Thall, P.F., et al., *Accrual strategies for phase I trials with delayed patient outcome*. Stat Med, 1999. **18**(10): p. 1155-69.

100. Zhu, W. and W. Kee Wong, *Bayesian optimal designs for estimating a set of symmetrical quantiles*. Stat Med, 2001. **20**(1): p. 123-137.
101. Babb, J.S. and A. Rogatko, *Patient specific dosing in a cancer phase I clinical trial*. Stat Med, 2001. **20**(14): p. 2079-90.
102. Husing, J., et al., *A scheme for a dose-escalation study when the event is lagged*. Stat Med, 2001. **20**(22): p. 3323-34.
103. Atkinson, E.N., *A bayesian strategy for evaluating treatments applicable only to a subset of patients*. Stat Med, 1997. **16**(16): p. 1803-15.
104. Thall, P.F. and H.G. Sung, *Some extensions and applications of a Bayesian strategy for monitoring multiple outcomes in clinical trials*. Stat Med, 1998. **17**(14): p. 1563-80.
105. Westfall, P.H., A. Krishen, and S.S. Young, *Using prior information to allocate significance levels for multiple endpoints*. Stat Med, 1998. **17**(18): p. 2107-19.
106. Chick, S.E., D.C. Barth-Jones, and J.S. Koopman, *Bias reduction for risk ratio and vaccine effect estimators*. Stat Med, 2001. **20**(11): p. 1609-24.
107. Halpern, J., B.W. Brown, Jr., and J. Hornberger, *The sample size for a clinical trial: a Bayesian-decision theoretic approach*. Stat Med, 2001. **20**(6): p. 841-58.
108. Tan, S.B. and A.F. Smith, *Exploratory thoughts on clinical trials with utilities*. Stat Med, 1998. **17**(23): p. 2771-91.
109. Bagiella, E. and D.F. Heitjan, *Predicting analysis times in randomized clinical trials*. Stat Med, 2001. **20**(14): p. 2055-63.

110. Daniels, M.J. and C. Gatsonis, *Hierarchical polytomous regression models with applications to health services research*. Stat Med, 1997. **16**(20): p. 2311-25.
111. Wray, N.R., et al., *A comparison of some simple methods to identify geographical areas with excess incidence of a rare disease such as childhood leukaemia*. Stat Med, 1999. **18**(12): p. 1501-16.
112. Xia, H. and B.P. Carlin, *Spatio-temporal models with errors in covariates: mapping Ohio lung cancer mortality*. Stat Med, 1998. **17**(18): p. 2025-43.
113. Osnes, K. and O.O. Aalen, *Spatial smoothing of cancer survival: a Bayesian approach*. Stat Med, 1999. **18**(16): p. 2087-99.
114. Sun, D., et al., *Spatio-temporal interaction with disease mapping*. Stat Med, 2000. **19**(15): p. 2015-35.
115. Bell, B.S. and L.D. Broemeling, *A bayesian analysis for spatial processes with application to disease mapping*. Stat Med, 2000. **19**(7): p. 957-74.
116. Hsiao, C.K., J.Y. Tzeng, and C.H. Wang, *Comparing the performance of two indices for spatial model selection: application to two mortality data*. Stat Med, 2000. **19**(14): p. 1915-30.
117. Assuncao, R.M., I.A. Reis, and C.D. Oliveira, *Diffusion and prediction of Leishmaniasis in a large metropolitan area in Brazil with a Bayesian space-time model*. Stat Med, 2001. **20**(15): p. 2319-35.
118. Canalda, C. and E. Brau, *Endodoncia: técnicas clínicas y bases científicas*. Vol. 2. 2006, Barcelona: Masson.
119. Endodontist, A.A.o., *Cracking the Cracked Tooth Code: Detection and Treatment of Various Longitudinal Tooth Fractures*. Endodontics: Colleagues for Excellence, 2008.

120. Estrela, C., et al., *Characterization of successful root canal treatment*. Braz Dent J, 2014. **25**(1): p. 3-11.
121. Endodontist, A.A.o., *Cracking the cracked tooth code: Detection and Treatment of Various Longitudinal Tooth Fractures Endodontics: Colleagues for Excellence*. 2008.
122. Fuentes Fuentes, M.V., *Propiedades Mecánicas de la Dentina Humana*. Avances en Odontoestomatología, 2004. **2**(20): p. 79-83.
123. Haueisen, H., et al., *Vertical root fracture: prevalence, etiology, and diagnosis*. Quintessence Int, 2013. **44**(7): p. 467-74.
124. Casanellas, J.M., *Restauración del Diente Endodonciado*. 1 ed. 2006, Madrid: Pues.
125. Marti, X., *Fracturas Radiculares*, in *Restauración del Diente Endodonciado*. 2006, Pues: Madrid.
126. Inoue, T., et al., *Fatigue and tensile properties of radicular dentin substrate*. J Biomech, 2011. **44**(4): p. 586-92.
127. Ricucci, D., et al., *The cracked tooth: histopathologic and histobacteriologic aspects*. J Endod, 2015. **41**(3): p. 343-52.
128. Seo, D.G., et al., *Analysis of factors associated with cracked teeth*. J Endod, 2012. **38**(3): p. 288-92.
129. Tang, W., Y. Wu, and R.J. Smales, *Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth*. J Endod, 2010. **36**(4): p. 609-17.

130. Shahabinejad, H., et al., *Success of ultrasonic technique in removing fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals and its effect on the required force for root fracture.* J Endod, 2013. **39**(6): p. 824-8.
131. Yoldas, O., et al., *Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file.* J Endod, 2012. **38**(2): p. 232-5.
132. Adorno, C.G., T. Yoshioka, and H. Suda, *Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths.* J Endod, 2011. **37**(4): p. 522-5.
133. Abou El Nasr, H.M. and K.G. Abd El Kader, *Dentinal Damage and Fracture Resistance of Oval Roots Prepared with Single-file Systems Using Different Kinematics.* J Endod, 2014. **40**(6): p. 849-51.
134. Barreto, M.S., et al., *Vertical root fractures and dentin defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling.* J Endod, 2012. **38**(8): p. 1135-9.
135. Goldsmith, M., K. Gulabivala, and J.C. Knowles, *The effect of sodium hypochlorite irrigant concentration on tooth surface strain.* J Endod, 2002. **28**(8): p. 575-9.
136. Kim, H.C., et al., *Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture.* J Endod, 2010. **36**(7): p. 1195-9.
137. Kim, H.C., et al., *Stress generation during self-adjusting file movement: minimally invasive instrumentation.* J Endod, 2013. **39**(12): p. 1572-5.
138. Jungbluth, H., et al., *Stabilizing sodium hypochlorite at high pH: effects on soft tissue and dentin.* J Endod, 2011. **37**(5): p. 693-6.

139. Zhang, K., et al., *Effects of different exposure times and concentrations of sodium hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin*. J Endod, 2010. **36**(1): p. 105-9.
140. De Almeida, L.H., et al., *Influence of EDTA and dentine in tissue dissolution ability of sodium hypochlorite*. Aust Endod J, 2013.
141. Adorno, C.G., et al., *The effect of endodontic procedures on apical crack initiation and propagation ex vivo*. Int Endod J, 2013. **46**(8): p. 763-8.
142. Hammad, M., A. Qualtrough, and N. Silikas, *Effect of new obturating materials on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth*. J Endod, 2007. **33**(6): p. 732-6.
143. Lertchirakarn, V., A. Timyam, and H.H. Messer, *Effects of root canal sealers on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth*. J Endod, 2002. **28**(3): p. 217-9.
144. Ghoneim, A.G., et al., *Resistance to fracture of roots obturated with novel canal-filling systems*. J Endod, 2011. **37**(11): p. 1590-2.
145. Huang, C.C., et al., *Analysis of the width of vertical root fracture in endodontically treated teeth by 2 micro-computed tomography systems*. J Endod, 2014. **40**(5): p. 698-702.
146. Chevret, S., *Bayesian adaptive clinical trials: a dream for statisticians only?* Stat Med, 2011. **31**(11-12): p. 1002-13.
147. Collins, S.P., et al., *Bayesian adaptive trial design in acute heart failure syndromes: moving beyond the mega trial*. Am Heart J. **164**(2): p. 138-45.
148. Lee, J.J. and C.T. Chu, *Bayesian clinical trials in action*. Stat Med, 2012. **31**(25): p. 2955-72.

149. Castro, J.L., et al., *Loss and gain function for CBR retrieval*. Informatics Science, 2009. **179**(11): p. 1738-1750.
150. Friedman, N., *Bayesian Network Classifiers*. 2006, Boston: Kluwer Academic Publishers.
151. Acharya, A.B., *Accuracy of predicting 18 years of age from mandibular third molar development in an Indian sample using Demirjian's ten-stage criteria*. Int J Legal Med, 2010. **125**(2): p. 227-33.
152. Tu, Y.K., et al., *A Bayesian network meta-analysis on comparisons of enamel matrix derivatives, guided tissue regeneration and their combination therapies*. J Clin Periodontol, 2012. **39**(3): p. 303-14.
153. Corradi, F., et al., *Probabilistic classification of age by third molar development: the use of soft evidence*. J Forensic Sci, 2012. **58**(1): p. 51-9.
154. Buti, J., et al., *Bayesian network meta-analysis of root coverage procedures: ranking efficacy and identification of best treatment*. J Clin Periodontol, 2013. **40**(4): p. 372-86.
155. Frosio, I., et al., *Bayesian denoising in digital radiography: a comparison in the dental field*. Comput Med Imaging Graph, 2013. **37**(1): p. 28-39.
156. Chesnokov, V.A., et al., *[The Bayesian framework of detection of cariesgenic Streptococcus in dental plaque in children with distal occlusion under orthodontic treatment]*. Klin Lab Diagn, 2013(8): p. 54-8.
157. Coelho, E.D., et al., *Computational prediction of the human-microbial oral interactome*. BMC Syst Biol, 2014. **8**: p. 24.

158. Aliaga Vera, I.J., *Sistema De Razonamiento Basados en Casos y Análisis Estadístico Inferencial en la Predicción de Fracagos de Restauraciones de Resina Compuesta en Sector Posterior*, in *Departameteo de Estomatología II. Odontología Conservadora*. 2015, Universidad Complutense de Madrid: Madrid.
159. Bahcall, J.K. and F.K. Olsen, *Clinically enhancing the connection between endodontic and restorative treatment for better case prognosis*. *Dent Today*, 2007. **26**(1): p. 98-103; quiz 103, 115.
160. Begotka, B.A. and G.R. Hartwell, *The importance of the coronal seal following root canal treatment*. *Va Dent J*, 1996. **73**(4): p. 8-10.
161. Carratu, P., et al., *Evaluation of leakage of bacteria and endotoxins in teeth treated endodontically by two different techniques*. *J Endod*, 2002. **28**(4): p. 272-5.
162. Camejo Suárez, M.V., *Efecto de algunas técnicas utilizadas en la realización del tratamiento de conductos radiculares en la microfiltración coronaria*. *Acta Odontológica Venezolana*, 2009. **47**(1).
163. Topcuoglu, H.S., et al., *Fracture resistance of roots filled with three different obturation techniques*. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2011.
164. Cheng, L., et al., *A comparative analysis of periapical radiography and cone-beam computerized tomography for the evaluation of endodontic obturation length*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2011. **112**(3): p. 383-9.
165. Ravindranath, M., et al., *The influence of obturation technique on sealer thickness and depth of sealer penetration into dentinal tubules evaluated by computer-aided digital analysis*. *Gen Dent*, 2012. **59**(5): p. 376-82.

166. Lin, H.C., et al., *Use of rubber dams during root canal treatment in Taiwan*. J Formos Med Assoc, 2011. **110**(6): p. 397-400.
167. Kansal, R., et al., *Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files*. J Endod, 2014. **40**(9): p. 1443-6.
168. Capar, I.D., et al., *Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin*. J Endod, 2014. **40**(9): p. 1482-4.
169. Karatas, E., et al., *Dentinal Crack Formation during Root Canal Preparations by the Twisted File Adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne Instruments*. J Endod, 2015. **41**(2): p. 261-4.
170. Liu, R., et al., *The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system*. J Endod, 2013. **39**(8): p. 1054-6.
171. Hin, E.S., et al., *Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall*. J Endod, 2013. **39**(2): p. 262-4.
172. Liu, R., et al., *Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths*. J Endod, 2013. **39**(1): p. 129-32.
173. Kogan, E.F., *Postes flexibles de fibra de vidrio (técnica directa) para restauración de dientes tratados endodónticamente*. Revista ADM, 2001. **LVIII**(1): p. 5-9.
174. Shetty, P.P., et al., *A finite Element analysis for a comparative evaluation of stress with two commonly used esthetic post*. European Journal of Dentistry, 2013. **7**(4): p. 419-422.

175. Stewardson, D.A., et al., *The Flexural Properties of Endodontics Post Materials*. Dental Materials, 2010. **20**: p. 730-736.
176. Sugaya, T., et al., *Comparison of Fracture Sites and Post Lengths in Longitudinal Root Fractures*. J Endod, 2015. **41**(2): p. 159-63.
177. Salameh, Z., et al., *Effect of different all-ceramic crown system on fracture resistance and failure pattern of endodontically treated maxillary premolars restored with and without glass fiber posts*. J Endod, 2007. **33**(7): p. 848-51.
178. Salameh, Z., et al., *The effect of different full-coverage crown systems on fracture resistance and failure pattern of endodontically treated maxillary incisors restored with and without glass fiber posts*. J Endod, 2008. **34**(7): p. 842-6.
179. D'Arcangelo, C., et al., *Fracture resistance and deflection of pulpless anterior teeth restored with composite or porcelain veneers*. J Endod, 2010. **36**(1): p. 153-6.
180. Mohammadi, N., et al., *Effect of fiber post and cusp coverage on fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars directly restored with composite resin*. J Endod, 2009. **35**(10): p. 1428-32.
181. Capar, I.D., et al., *Effect of the Size of the Apical Enlargement with Rotary Instruments, Single-cone Filling, Post Space Preparation with Drills, Fiber Post Removal, and Root Canal Filling Removal on Apical Crack Initiation and Propagation*. J Endod, 2015. **41**(2): p. 253-6.
182. Oyar, P., *The Effects of Post-core and Crown Material and Luting Agents on Stress Distribution in Tooth Restorations*. Journal of Prosthetic Dentistry, 2014. **112**: p. 211-219.

183. Nie, E.M., et al., *Influence of masticatory fatigue on the fracture resistance of the pulpless teeth restored with quartz-fiber post-core and crown*. Int J Oral Sci, 2012. **4**(4): p. 218-20.
184. Petcu, C.M., et al., *Masticatory tensile developed in upper anterior teeth with chronic apical periodontitis. A finite-element analysis study*. Rom J Morphol Embryol, 2013. **54**(3): p. 587-92.
185. Jurisica, I. and J. Glasgow, *Applications of case-based reasoning in molecular biolog*. Artificial Intelligence Magazine, 2004. **1**(25): p. 85-95.
186. Montani, S., *How to use contextual knowledge in medical case-based reasoning systems: a survey on very recent trends*. Artif Intell Med. **51**(2): p. 125-31.
187. Suebnukarn, S., N. Rungcharoenporn, and S. Sangsuratham, *A Bayesian decision support model for assessment of endodontic treatment outcome*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2008. **106**(3): p. e48-58.
188. Thoden van Velzen, S.K., H.J. Duivenvoorden, and A.H. Schuurs, *Probabilities of success and failure in endodontic treatment: a Bayesian approach*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1981. **52**(1): p. 85-90.
189. Chungal, N.M., J.M. Clive, and L.S. Spangber, *A prognosis model for assessment of the outcome of endodontic treatment: Effect of biologic and diagnosis variables*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2001. **91**(3): p. 342-352.
190. Givol, N., *Risk management in endodontics*. J Endod, 2010. **36**(6): p. 982-984.
191. Song, M., *Prognosis Factors for clinical outcomes in endodontic microsurgery: a retrospective study*. J Endod. **37**(7): p. 927-933.

192. Ashby, D., *Bayesian Statistics in Medicine: A 25 years review*. *Statistics in Medicine*, 2006. **25**: p. 3589-3631.
193. Kim, E.S., et al., *The BATTLE trial: personalizing therapy for lung cancer*. *Cancer Discov*, 2011. **1**(1): p. 44-53.