

MYCIN: Medical Diagnosis using Production Rules
(Diagnóstico Médico usando Reglas de Producción)

El término “computación médica” se refiere al uso de tecnología computacional en la administración y práctica de la medicina. “Toma de decisiones médicas asistidas por computador” se refiere a cualquier uso de computadores que contribuyan al aspecto de juicio de la práctica clínica. “Sistemas expertos médicos” se refiere al uso de computadores como asesores en el proceso de diagnóstico y tratamiento.

Algunos problemas en la profesión médica son:

- * enormes costos de los métodos modernos;
- * explosión de la información, tanto médica como administrativa;
- * mala distribución geográfica de experiencia y recursos;
- * aumento en la demanda de tiempo de médicos para el cuidado de la calidad.

Obviamente, hay un rol potencial para los sistemas expertos en la provisión de diagnósticos, planificación de tratamientos y programas educacionales.

Este capítulo se concentra en un sistema experto particular, MYCIN, describiendo su función, estructura y comportamiento en tiempo de ejecución con un buen nivel de detalle. La idea de hacerlo es ilustrar ciertas ideas acerca de representación y control, y técnicas específicas para implementar tales ideas, sin tener que recurrir a abstracciones y generalidades. MYCIN es un buen vehículo para propósitos docentes porque:

- * es un buen ejemplo de una amplia clase de programas de consulta que realizan diagnósticos y ofrecen asesoría;
- * satisface hasta cierto punto los criterios de complejidad realista, satisfacción de una necesidad, alto desempeño, confiabilidad y usabilidad que uno asocia a los sistemas expertos exitosos;
- * ha dado pie a una familia de programas relacionados que son tanto modelados basándose en MYCIN, en cuanto a que usan el mismo esquema de representación y estructuras de control aplicadas a diferentes dominios, como complementarios a MYCIN, en cuando a que proveen facilidades extra que usa MYCIN o que MYCIN puede usar.

1. Tratando infecciones sanguíneas

Un “agente antimicrobiano” es cualquier droga diseñada para matar bacterias o detener su crecimiento. El término “antibiótico” suele usarse como un sinónimo, sin embargo, estrictamente hablando, se refiere a cualquier droga aislada como un producto de una bacteria u hongo producido naturalmente, e.g. penicilina del hongo de penicilina. Algunos antibióticos son demasiado tóxicos para propósitos terapéuticos y no hay agentes simples que sean efectivos contra toda bacteria.

La selección de terapia para una infección bacteriana es un proceso de decisión de cuatro partes:

- * decidir si el paciente tiene una infección significativa;
- * determinar a el o los (posibles) organismos involucrados;
- * seleccionar un conjunto de drogas que puedan ser apropiadas;
- * elegir la droga o combinación de ellas que sea más apropiada.

Esta tarea no es de ninguna manera directa. El diagnóstico de una infección se complica por el hecho de que el cuerpo humano está normalmente poblado por bacterias, e.g. piel y garganta. Muestras de sitios normalmente estériles, e.g. sangre y fluido cerebroespinal, pueden ser contaminados subsecuentemente en el laboratorio. El diagnóstico inicial, por tanto, se basa en criterio clínico, e.g. fiebre y dolor.

Las muestras tomadas del sitio de infección son enviadas a un laboratorio de microbiología para cultivo, i.e. un intento de reproducir los organismos de la muestra en un medio conveniente. Evidencia temprana de crecimiento puede permitir un reporte de las características morfológicas o la cepa del organismo. Sin embargo, la prueba completa e identificación definitiva puede tomar de 24 a 48 horas o más.

Incluso si un organismo es identificado, su rango de sensibilidades antimicrobianas puede ser desconocido o incierto. Por ejemplo, la *Pseudomonas* es normalmente sensible a gentamicina, pero están apareciendo cepas resistentes. Los datos de sensibilidad no están típicamente disponibles hasta uno o dos días después de la obtención del cultivo.

Los médicos deben, por tanto, elegir una droga basándose en:

- * las posibles identidades del organismo;
- * la probable efectividad del agente antimicrobiano contra este rango de posibilidades.

El efecto de una droga sobre un paciente particular dependerá incluso de factores adicionales, tales como edad, sexo y estado renal. La vía de administración, e.g. oral, intravenosa o intramuscular, puede también depender de consideraciones especiales. Pueden requerirse cambios en la dosis, o incluso cambios en la(s) droga(s) que está(n) siendo administrada(s), a medida que se dispone de mayor información acerca del cultivo y del estado clínico del paciente.

Hay una buena recopilación de evidencia como para sugerir que se necesita ayuda con la selección antimicrobiana. Los antibióticos datan de la década de 1930, habiendo sido descubierta la penicilina en 1943. Ya en los 1950s, se hizo claro que se estaban usando mal, e.g. los practicantes estaban prescribiéndolos para infecciones respiratorias, fueran tanto virales como bacterianas.

A pesar de los intentos para educar a los doctores, el problema se mantiene; pocos parecen ir a través del proceso metódico de decisión ya delineado. La sobre-prescripción en los Estados Unidos durante 1972 fue estimada en un factor de 10 a 20, por lo que el costo anual para pacientes y hospitales es enorme. Además, la sobre-prescripción puede resultar en el desarrollo de cepas bacterianas resistentes.

El propósito de MYCIN es asistir al médico que no sea un experto en el área de los antibióticos con el diagnóstico y tratamiento de infecciones sanguíneas. El trabajo en MYCIN comenzó en 1972 como una colaboración entre las comunidades médicas y de Inteligencia Artificial de *Stanford*. La cuenta simple más completa de este trabajo es *Shortliffe (1976)*.

Ha habido numerosas extensiones, revisiones y abstracciones de MYCIN desde 1976, pero la versión básica consta de tres componentes:

1. Un sistema de consulta que realiza preguntas, entrega conclusiones y da consejos.
2. Un sistema de explicación que responde preguntas y justifica los consejos.
3. Un sistema de adquisición de reglas para agregar nuevas reglas y cambiar las existentes.

2. El sistema de consulta

El sistema de consulta es aquella parte del programa que genera un conjunto de hipótesis con respecto a los organismos ofensivos, y entonces hace recomendaciones de terapia basadas en estas hipótesis. Nótese que la identidad del organismo no tiene que ser establecida con certeza para hacer factibles las recomendaciones de terapia. MYCIN suele describirse incorrectamente como un programa de diagnóstico médico; en realidad es un programa para tratamiento de infecciones sanguíneas¹.

¹ N. del T.: No confundir diagnóstico, que consiste en determinar de qué enfermedad se trata, con tratamiento, que consiste en el conjunto de técnicas médicas aplicadas para mejorar la enfermedad.

El sistema de consulta consiste en una base de reglas, un conjunto de estructuras estáticas y dinámicas, y una estructura de control.

2.1 Reglas de producción de MYCIN

A continuación se da una sintaxis simplificada de las reglas de MYCIN. Los términos en paréntesis angulares denotan descripciones de expresiones más que a las expresiones mismas. ::= significa “se define como”, mientras que | significa disyunción. Esta gramática describe la forma en que las reglas son representadas internamente como código LISP. LISP es el lenguaje de alto nivel de procesamiento de listas en el cual MYCIN está implementado².

```
<rule>      ::= <premise> <action>
<premise>   ::= ($AND <condition> ... <condition>)
<condition> ::= (<predicate> <context> <parameter> <value>)
              | ($OR <condition> ... <condition>)
<action>    ::= <conclusion> | <instruction>
```

Una regla es un par premisa-acción, como se describió en el Capítulo 3. Las premisas son conjunciones de condiciones, las cuales pueden ser disyunciones. Las condiciones son típicamente predicados que se evalúan como verdad o falsedad con algún grado de certeza. Los “Factores de certeza”³ son números asociados con los elementos de dato que calzan condiciones, indicando el grado de confianza o desconfianza en la información representada.

Las acciones son o bien conclusiones a obtener con algún grado apropiado de certeza, e.g. la identidad de algún organismo, o una instrucción que se realizará, e.g. compilar una lista de terapias. Las reglas, así como los datos, tienen un peso numérico, llamado una “cuenta”⁴, asociado con ellos. Este número pretende reflejar la confianza en la aplicación de la regla, y el grado de confianza en la conclusión será una función tanto de la cuenta de la regla y las certezas combinadas de los datos que calzan las condiciones de la regla.

Lo siguiente es una típica regla de MYCIN para inferir la clase de un organismo.

```
PREMISE: ($AND (SAME CNTXT GRAM GRAMNEG)
              (SAME CNTXT MORPH ROD)
              (SAME CNTXT AIR AEROBIC))
ACTION: (CONCLUDE CNTXT CLASS ENTEROBACTERIACEAE TALLY .8)
```

Sin embargo, el usuario nunca ve el código LISP. Previamente a ser desplegadas en el terminal, las reglas son traducidas a un tipo de inglés. Así, la regla dada arriba aparecería como⁵:

```
If 1) the stain of the organism is gramneg, and
    2) the morphology of the organism is rod, and
    3) the aerobicity of the organism is aerobic
THEN there is strongly suggestive evidence (.8) that the class of the
organism is enterobacteriaceae.
```

² N. del T.: *rule* = regla; *premise* = premisa; *condition* = condición; *action* = acción; *and* = y; *predicate* = predicado; *context* = contexto; *parameter* = parámetro; *value* = valor; *or* = o; *conclusion* = conclusión; *instruction* = instrucción.

³ N. del T.: “*Certainty factors*”, cuyas siglas son C.F.

⁴ N. del T.: Aproximación del concepto inglés “tally”.

⁵ Si (1) la cepa del organismo es *gramneg*, y (2) la morfología del organismo es aeróbica, y (3) la aerobividad del organismo es aeróbica ENTONCES hay evidencia fuertemente sugerente (.8) de que la clase del organismo es enterobacteriococo.

La única cosa que hay que notar acerca del código LISP en esta etapa es que es altamente uniforme y estilizado. Este formato fijo de regla hace la traducción relativamente fácil, y también facilita al programa el examinar sus propias reglas. Esto es manteniendo la tradición LISP de tratar los programas como datos. Debido a que los programas LISP son sólo estructuras de lista, pueden ser procesados por las mismas funciones primitivas que las usadas para manipular datos. Imagine cómo sería comparativamente difícil escribir un programa en PASCAL para examinar y manipular su propio código fuente.

2.2 Estructuras de datos de MYCIN

Hay dos tipos principales de estructuras de datos usadas por el sistema de consulta: estático y dinámico.

Estructuras de datos estáticas

La estructura estática almacena la información de definición, la cual es mantenida separada del conocimiento inferencial embebido en las reglas, en la forma de:

- * listas simples, e.g. las listas ORGANISMS y STERILESITES, las cuales enumeran todos los organismos y sitios estériles conocidos por el sistema;
- * tablas de conocimiento, las cuales contienen registros de ciertos parámetros clínicos y los valores que toman bajo diversas circunstancias, e.g. la cepa, morfología y aerobicidad de cada gen bacterial conocido por el sistema;
- * un sistema de clasificación para parámetros clínicos de acuerdo al contexto en el que se aplican, e.g. bien sean atributos de pacientes, cultivos u organismos.

Gran parte del conocimiento médico que no está contenido en las reglas reside en las propiedades asociadas con los 65 parámetros clínicos conocidos por MYCIN. Estos parámetros pueden ser clasificados de varias formas. El sistema distingue entre tres amplios tipos semánticos: sí/no, mono-valuados y multi-valuados.

Los parámetros sí/no tratan con atributos que un objeto o bien posee o bien no, e.g. el atributo FEBRILE de pacientes. Las preguntas al usuario que buscan el valor de tal tipo de parámetro esperan ya sea un sí o un no por respuesta.

Los parámetros mono-valuados tratan con atributos que tienen un valor que excluye todos los otros valores en el rango, e.g. el atributo IDENT de organismos. Si un organismo tiene a SALMONELLA como valor de su atributo de identidad, entonces no puede tener también a ARIZONA como dicho valor.

Los parámetros multi-valuados tratan con atributos que pueden tener más de un valor, e.g. el atributo INFECT de los pacientes. Claramente, un paciente puede sufrir de más de una infección.

El sistema le asigna varias propiedades a los parámetros para varios propósitos; el principal tanto ayuda a monitorear la interacción con el usuario, como ayuda a guiar la aplicación de reglas.

Por ejemplo, cada parámetro tiene las siguientes propiedades para facilitar la interacción con el usuario:

- * una propiedad EXPECT que indica el rango de posibles valores para el atributo;
- * una propiedad PROMPT que da una oración en inglés usada por MYCIN cuando pide el valor para el parámetro;
- * una propiedad LABDATA que indica si el parámetro es un fragmento de dato primitivo o no, el cual puede ser conocido con certeza;
- * una propiedad TRANS usada para traducir el parámetro a su representación en inglés.

En adición, hay dos importantes propiedades que tienen relación con parámetros clínicos de las reglas que las referencian:

- * una propiedad LOOKAHEAD que lista todas las reglas que mencionan al parámetro en su premisa;
- * una propiedad UPDATED-BY que lista todas las reglas que referencian al parámetro en su acción, permitiendo concluir acerca del valor de dicho parámetro.

Dichas propiedades son claramente útiles para decidir qué reglas aplicar, dado que la meta actual del sistema es averiguar acerca de un parámetro particular.

Estructuras de datos dinámicas

Los datos dinámicos son mantenidos en un “árbol de contexto”, que sirve para organizar la información relacionada con un paciente en particular. El consejo estará obviamente basado tanto en los cultivos, organismos, operaciones previas y tratamientos asociados con un paciente, como en características personales tales como edad y sexo, pudiendo cada una de ellas ser considerada como un contexto diferente. El árbol sirve para estructurar el problema clínico y relacionar un contexto con otro.

La relación entre las reglas en la base de conocimiento y el árbol de contexto se da como sigue. Las reglas son categorizadas de acuerdo a los tipos de contexto en los que se presentan, e.g. algunos se aplican a organismos, algunos a cultivos, algunos a tratamientos y así. Además de esto, las reglas no son organizadas en ningún tipo de árbol de decisión o red de inferencia.

El símbolo CNTXT que aparece en las reglas como la mostrada anteriormente es realmente una variable que es instanciada por el nombre que MYCIN le da al nodo contextual que está actualmente mirando, e.g. ORGANISM-1. Así que la premisa evaluada en el contexto de ORGANISM-1 sería instanciada como:

```
( $AND ( SAME ORGANISM-1 GRAM GRAMNEG )
        ( SAME ORGANISM-1 MORPH ROD )
        ( SAME ORGANISM-1 AIR AEROBIC ) )
```

antes de que MYCIN intentara determinar si las condiciones eran ciertas. La información acerca de ORGANISM-1 es adjuntada al nodo correspondiente en el árbol de contexto y almacenada en una especie de una estructura de registro. Supóngase que tenemos el siguiente dato:

```
ORGANISM-1
  GRAM = ( GRAMNEG 1.0 )
  MORPH = ( ROD .8 ) ( COCCUS .2 )
  AIR = ( AEROBIC .6 ) ( FACUL .4 )
```

con el siguiente significado:

- * el *gram stain*⁶ de ORGANISM-1 es definitivamente *gram* negativo;
- * la morfología de ORGANISM-1 es *rod*⁷ con una certeza de .8 y *coccus* con una certeza de .2;
- * la aerobicidad de ORGANISM-1 es aeróbica con una certeza de .6 y facultativo con una certeza de .4.

Así, (SAME ORGANISM-1 GRAM GRAMNEG) se evalúa a 1.0, indicando la certeza de que esta condición es cierta. Las otras dos condiciones se evalúan como 0.8 y 0.6 respectivamente. \$AND entonces toma el valor mínimo de estas certezas de modo que el valor para la conjunción resulta 0.6; \$OR tomaría el valor máximo.

⁶ N. del T.: ¿Cepa?

⁷ N. del T.: ¿Barra?

Este uso de *min* y *max* tiene una idea intuitiva: nuestra certeza acerca de $P_1 \& \dots \& P_n$ es tan grande como nuestra certeza acerca de la proposición más dudosa, mientras que nuestra certeza acerca de $P_1 \vee \dots \vee P_n$ es tan grande como nuestra certeza acerca de la proposición más cierta.

Cualquier valor mayor o igual que 0.2 es suficiente para que la aplicación de la regla tenga éxito. En este caso, se llega a la siguiente conclusión:

```
(CONCLUDE ORGANISM-1 CLASS ENTEROBACTERIACEAE .6 .8)
```

Nótese que TALLY⁸ ha sido fijado al valor CF para la premisa de la regla, 0.6. Este valor es usado para computar un CF para la conclusión de la acción de acuerdo a la simple fórmula:

$$CF\langle action \rangle = CF\langle premise \rangle * CF\langle rule \rangle$$

así que concluimos que ORGANISM-1 es un enterobacteriococo con una certeza de 0.48.

2.3 La estructura de control de MYCIN

El sistema de consulta es esencialmente un sistema de producción de “encadenación hacia atrás”⁹. Sin embargo, hay otras características de control en MYCIN que modifican este comportamiento básico. La mecánica de esto se volverá aparente en las siguientes secciones.

Encadenamiento hacia atrás

MYCIN tiene una regla meta de máximo nivel que define la tarea completa del sistema de consulta¹⁰:

```
IF there is an organism which requires therapy, and consideration
has been given to the possibility of additional organisms
requiring therapy
THEN compile a list of possible therapies, and determine the best
therapy in this list.
```

Una sesión de consulta sigue un proceso simple de dos pasos:

1. Crear el contexto del paciente como el nodo de más alto nivel en el árbol de contexto.
2. Intentar aplicar la regla meta a este contexto del paciente.

La regla meta es, por lo tanto, una PATRULE; se aplica al contexto “paciente”. Aplicar la regla requiere evaluar su premisa, la cual requiere el determinar si hay un organismo que requiera terapia. Con el fin de que se pueda determinar, debe primero determinarse si hay verdaderamente un organismo presente, el cual esté asociado con una enfermedad significativa. Esta información puede bien ser obtenida directamente del usuario o vía alguna cadena de inferencia basada en síntomas y datos de laboratorio provistos por el usuario. Por tanto, las razones de sistema detrás del establecimiento de un problema, i.e. “¿hay organismos que requieran terapia?” a hechos relevantes que den los valores de parámetros clínicos, vía reglas que relacionan conclusiones con evidencia en el contexto de cultivos y organismos, conocidas como CULRULES y ORGRULES¹¹.

⁸ N. del T.: Cuenta

⁹ *Backward chaining*.

¹⁰ SI hay un organismo que requiere terapia, y se ha considerado la posibilidad de organismos adicionales que requieran terapia, ENTONCES compile una lista de terapias posibles y determine la mejor terapia en esta lista.

¹¹ N. del T.: Reglas de cultivo y de organismos, respectivamente.

La consulta es esencialmente una búsqueda a través de un árbol meta. La meta superior en la raíz del árbol es la parte de acción de la regla meta, i.e. las recomendaciones de una terapia en base a drogas. Las sub-metas futuras hacia abajo en el árbol incluyen el determinar el organismo involucrado y el ver si es significativo. Muchas de estas sub-metas tienen sub-metas propias, tales como el encontrar las propiedades de la cepa y morfología del organismo. Las hojas del árbol son metas fácticas¹², tales como datos de laboratorio, que no pueden ser deducidos.

Como se notó en el Capítulo 3, a esto se le llama “estructura de control de encadenamiento hacia atrás”, ya que el programa razona hacia atrás desde lo que quiere probar hacia los hechos que necesita para hacerlo, más que razonar hacia delante desde los hechos que posee hacia la meta.

El sistema puede preguntar al usuario por ítems de datos cómo y cuándo sean necesarios para la evaluación de una condición en la regla actual. Si la información requerida no inmediata, puede haber reglas que se aplican a los parámetros clínicos en cuestión y que pueden ser invocados en búsqueda de sus valores. Si no hay tales reglas, entonces la aplicación actual de la regla fallará. El sistema sabe cuáles parámetros puede preguntar, porque tienen la propiedad LABDATA mencionada anteriormente. Así, se alternan la selección de pregunta e invocación de regla, con los procedimientos asociados llamándose unos a otros en una recursión escondida.

Los dos procedimientos involucrados son MONITOR y FINDOUT.

* MONITOR intenta evaluar la premisa de la regla actual, condición por condición. Si cualquiera de las condiciones es falsa, o indeterminada debido a falta de información, la regla es rechazada, y se prueba la siguiente regla en la lista de reglas aplicables pendientes en el contexto actual. La aplicación de la regla tiene éxito cuando todas las condiciones en la premisa son juzgadas como verdaderas, y la conclusión de la regla es agregada al registro de la consulta actual.

* FINDOUT recolecta la información que contará a favor o en contra de una condición particular en la premisa de la regla en consideración. Si la información requerida son datos de laboratorio que el usuario puede proveer, entonces el control regresa a MONITOR y se intenta la siguiente condición. De otro modo, si hay reglas que pueden ser usadas para evaluar la condición, por virtud del hecho que sus acciones referencian los parámetros clínicos relevantes, son listadas y aplicadas en cambio usando MONITOR.

Así, la estructura de control es tan simple como lo son los programas de IA; sólo hay unas pocas desviaciones de la búsqueda primero en profundidad estándar:

1. El establecimiento de la sub-meta es siempre una forma generalizada de la meta original. Así, si la sub-meta es probar la proposición de que la identidad del organismo es *E. coli*, entonces la sub-meta actualmente establecida es determinar la identidad del organismo. Esto inicia una búsqueda exhaustiva sobre un tópico dado que colecta toda la información disponible.
2. Cada regla relevante para la meta es usada, a menos que una de ellas tenga éxito con certeza. Esto puede suceder debido al carácter inexacto de muchas de las inferencias realizadas, necesitando la colección de evidencia concerniendo a más de una hipótesis. Si la evidencia acerca de una hipótesis falla entre -0.2 y $+0.2$, es considerada como inconcluyente, y la respuesta es tratada como desconocida.
3. La estructura de control insta al programa a preguntar por los valores de los parámetros marcados como LABDATA antes de intentar deducirlos.

Mientras el encadenamiento hacia atrás se lleva a cabo, están siendo elaborados el árbol de contexto y el registro de consulta. Los nodos son agregados al árbol de contexto a medida que son requeridos por las reglas aplicables, las cuales referencian contextos todavía no creados. El registro de consulta, por otra parte, es actualizado después de las aplicaciones de reglas, y mantiene el historial de cómo los valores de parámetros clínicos fueron obtenidos y por qué fueron hechas preguntas particulares.

¹² N. del T.: También conocidas como *hechos*.

La selección de terapia toma lugar después de que este proceso de diagnóstico ha seguido su curso. Consiste en dos fases: seleccionar las drogas candidatas, y entonces elegir de la lista aquella droga preferida o combinación de ellas.

La regla meta especial dada arriba no lleva a una conclusión, pero instiga acciones, asumiendo que las condiciones en la premisa son satisfechas. En este punto, las THERULES¹³ de MYCIN entran en juego: Reglas de terapia para seleccionar tratamientos con drogas. Éstas nunca son invocadas bajo la estructura de control regular de MONITOR ni de FINDOUT, porque no se aplican directamente a ninguno de los parámetros clínicos. Contienen información sensible acerca de los varios organismos conocidos por el sistema. Se da una regla de ejemplo en la figura 1¹⁴.

```
IF      the identity of the organism is Pseudomonas
THEN   I recommend therapy from among the following drugs:
        1 - COLISTIN                (.98)
        2 - POLYMYXIN               (.96)
        3 - CENTAMICIN              (.96)
        4 - CARBENICILLIN           (.65)
        5 - SULFISOXAZOLE           (.64)
```

Figura 1: Una regla de terapia de MYCIN.

Los números asociados con cada droga son las probabilidades de que *Pseudomonas* será sensible a la droga indicada.

La droga preferida es seleccionada de la lista de acuerdo al criterio con el cual se intenta encontrar contraindicaciones de la droga y minimizar el número de drogas administradas, en adición con maximizar la sensibilidad.

El usuario puede seguir preguntando por terapias alternativas hasta que a MYCIN se le agoten las opciones. Cuando cada conjunto de recomendaciones es rechazado, el programa simplemente es ejecutado de nuevo con las drogas recomendadas removidas de las consideraciones.

Meta-reglas, reglas de antecedentes y el mecanismo de PREVIEW

MYCIN tiene alrededor de 200 de tales reglas en su conjunto de reglas por la época del reporte de 1976. Las reglas son indexadas según los parámetros clínicos que aparecen en sus partes de acción. Así, es fácil recuperar para consideración todas las reglas que se pueden aplicar en el determinar el valor de un parámetro dado.

Desde 1976, MYCIN ha adquirido más reglas, y diferentes tipos de reglas. Por ejemplo, ahora hay meta-reglas que, en vez de aplicarse a sub-metas, se aplican a reglas que se aplican a sub-metas. Dado que deseamos alcanzar la sub-meta G, digamos, encontrar la identidad de un organismo, puede haber hasta 30 reglas que podrían aplicarse. Las meta-reglas son usadas para podar y ordenar la lista de reglas aplicables en cualquier punto. Se encontraron necesarias si el conocimiento extra del dominio necesitaba ser aplicado eficiente y efectivamente.

Aquí hay un ejemplo de regla de poda para MYCIN, tomada de *Buchanan and Shortliffe* (1984, Capítulo 28)¹⁵:

¹³ N. del T.: Reglas de terapia

¹⁴ SI la identidad del organismo es *Pseudomonas*, ENTONCES recomiendo una terapia de entre las siguientes drogas.

¹⁵ SI (1) el cultivo no fue obtenido de una fuente estéril, y (2) hay reglas que mencionan en su premisa a organismos previos, los cuales pueden ser los mismos que el organismo actual, ENTONCES es definitivo (1.0) que cada uno de ellos no va a ser útil.

METARULE001

```

IF      1) the culture was not obtained from a sterile source, and
        2) there are rules which mention in their premise a previous
        organism, which may be the same as the current organism
THEN   it is definite (1.0) that each of them is not going to be useful.

```

Establece que cuando se trata de identificar organismos de un sitio no estéril, las reglas que basan su identificación en otros organismos encontrados en ese lugar no van a ser útiles.

Hay otras meta-reglas para reordenar reglas de dominios relevantes, y codifican conocimiento estratégico del tipo “intenta esto antes de intentar aquello”. Por ejemplo¹⁶:

METARULE002

```

IF      1) the infection is a pelvic abscess, and
        2) there are rules which mention in their premise
        enterobacteriaceae, and
        3) there are rules which mention in their premise gram-positive
        rods,
THEN   there is suggestive evidence (0.4) that the former should be done
        before the latter

```

Nótese que las meta-reglas también admiten incerteza, ya que sus conclusiones pueden ser calificadas por un factor de certeza menor que 1.

Finalmente, se presenta un ejemplo de una meta-regla bastante general, del tipo que puede ser usada “libre del dominio”, ya que se refiere a una estrategias generales de resolución de problemas, más que a conocimiento médico específico del dominio¹⁷.

METARULE003

```

IF      1) there are rules which do not mention the current goal in their
        premise, and
        2) there are rules which mention the current goal in their
        premise
THEN   it is definite (1.0) that the former should be done before the
        latter.

```

También hay algunas reglas de estilo antecedente para realizar razonamiento hacia delante, i.e. reglas que son gatilladas cuando sus condiciones calzan don datos, en vez de cuando sus conclusiones calzan con las metas actuales. Éstas son usadas cuando una conclusión ha sido obtenida, lo que permite hacer otras inferencias de sentido común. Existen exclusivamente debido a los intereses de eficiencia, y no alteran significativamente el estilo fundamental de razonamiento hacia atrás de MYCIN desde su meta principal.

Un ejemplo de una regla antecedente sería aquella que habilitara al sistema para inferir que los pacientes masculinos son poco propensos a quedar embarazados, según las líneas de¹⁸:

```

IF      sex of patient is male
THEN   pregnancy of patient is no.

```

¹⁶ SI (1) la infección es un absceso pélvico, y (2) hay reglas que lo mencionan enterobacteriana en su premisa, y (3) hay reglas que mencionan en su premisa a *rods gram-positivas*, ENTONCES hay evidencia sugerente (0.4) de que la primera debiera ser hecha antes de la siguiente.

¹⁷ SI (1) hay reglas que no mencionan a la meta actual en su premisa, y (2) hay reglas que mencionan a la meta actual en su premisa, ENTONCES es definitivo (1.0) que la primera debiera se hecha antes que la siguiente.

¹⁸ SI el sexo del paciente es masculino, ENTONCES el embarazo del paciente es *no*.

El punto de tal regla es evitar que el programa realice preguntas estúpidas que harían tanto perder tiempo como perder la confianza del usuario en el sistema. Las reglas de antecedentes son a menudo usadas en conjunción con el mecanismo PREVIEW, el cual chequea todas las cláusulas en la premisa de una regla para ver si alguna se sabe como falsa antes de comenzar con encadenamiento hacia atrás sobre la primera cláusula. Así, si el intérprete de reglas está considerando la aplicación de una regla que contiene pruebas de embarazo en cualquier lugar de la premisa, la combinación de las reglas de antecedentes y PREVIEW prevendrán que cualquier otra cláusula en la regla sea probada innecesariamente para pacientes masculinos.

Factores de certeza

Cada regla tiene asociado un “factor de certeza” (CF) en el rango $[-1, +1]$. Esto refleja el grado de confianza en la conclusión obtenida, dada la evidencia de las premisas. Un CF positivo indica un grado de confianza, mientras que un CF negativo sugiere un grado de desconfianza.

De hecho, MYCIN colecta evidencia tanto a favor como en contra de las hipótesis. La evidencia para una hipótesis incrementa la medida de confianza (MB^{19}) asociada con ella, mientras que la evidencia en contra incrementa la medida de desconfianza (MD^{20}), en vez de decrementar la medida de confianza. El factor de certeza por sí mismo es calculado tomando la diferencia entre la medida de confianza y la medida de desconfianza, así:

$$CF(h, e) = MB(h, e) - MD(h, e)$$

donde $MB(h, e)$ es la medida de creencia en la hipótesis h , incrementada, basándose en la evidencia e , mientras que $MD(h, e)$ es la medida de desconfianza en la hipótesis h , incrementada, basada en la evidencia e .

Los rangos de MB y MD son entre 0 y 1, así, CF tendrá necesariamente un límite superior de 1, en el caso donde h es lo suficientemente conocida para considerarla verdadera, y un límite inferior de -1 , en el caso donde h es lo suficientemente conocida para considerarla falsa. En el caso donde $CF(h, e) = 0$, la evidencia ni confirma ni contradice la hipótesis. Obviamente, esto puede deberse tanto porque no hay evidencia en ese sentido, i.e. $MB = MD = 0$, o porque la evidencia en conflicto está finamente balanceada con $MD = MD \neq 0$.

Una discusión más completa acerca del razonamiento inexacto puede ser encontrada en el Capítulo 15. Basta con mencionar que el uso de factores de certeza en MYCIN ha generado algo de controversia. Su principal función es permitir al intérprete priorizar hipótesis. No deben ser confundidos con las probabilidades, en tanto que no se requiere que los factores de certeza asociados con un espacio de alternativas sume 1. Hay ocasiones en las cuales la priorización mediante factores de certeza no resulta en el mismo ordenamiento que la priorización mediante probabilidades condicionales.

3. El sistema de explicación

Esta parte del programa es automáticamente invocada al final de una consulta, y puede también ser accedado durante la consulta misma. Permite al usuario interrogar al sistema acerca de la consulta, tan bien como cuando se hacen preguntas más generales.

La facultad de respuesta de preguntas de MYCIN está basada en sus habilidades para:

* desplegar la regla que está siendo invocada en cualquier punto de la consulta;

¹⁹ Measure of Belief.

²⁰ Measure of Disbelief.

* registrar las invocaciones de las reglas y asociarlas con eventos específicos, tales como preguntas hechas y conclusiones obtenidas;

* usar el indizado de reglas para recuperar reglas particulares como respuestas a peticiones.

Como se mencionó anteriormente, la consulta implica una búsqueda a través de un árbol de metas. Consecuentemente, las averiguaciones durante una consulta caen en dos tipos: aquellas que preguntan POR QUÉ se hizo una pregunta particular, y aquellas que preguntan CÓMO fue o puede ser alcanzada una conclusión particular. Para responder una pregunta “POR QUÉ”, se debe buscar hacia arriba en el árbol para ver qué metas más altas están tratando de ser logradas por el sistema. Para responder una pregunta “CÓMO”, se debe buscar hacia abajo en el árbol para ver qué sub-metas tienen que ser satisfechas para lograr la meta actual. Así, el proceso de explicación puede ser considerado como un tipo de árbol transversal, y puede, por tanto ser reducido a un problema de búsqueda.

3.1 Preguntas acerca de consultas

Como se mencionó anteriormente, MYCIN mantiene un registro de las decisiones que hace. Usa este registro para explicar y justificar sus decisiones en respuesta a preguntas como “¿Qué te hace pensar que ORGANISM-1 puede ser un *Proteus*?”. En respuesta, MYCIN cita las reglas que aplicó, su grado de certeza en cada decisión, y la última pregunta hecha.

Preguntas de información meramente piden el valor actual de algún parámetro clínico desde la base de datos dinámica, e.g. “¿Cuál es la decisión final con respecto a la identidad de ORGANISM-1?”.

Las preguntas explicatorias le piden al sistema que explique por qué una pregunta particular fue preguntada en un momento particular. El sistema responde diciendo a cuál parámetro clínico estaba tratando de encontrarle un valor, y cuál regla estaba tratando de ejecutar.

3.2 Preguntas generales

Estas referencian a las reglas sin considerar el estado de la base de datos dinámica. Averiguan acerca del conocimiento médico general codificado en las reglas, más que acerca de cómo ese conocimiento había sido aplicado a un paciente en particular. Un ejemplo podría ser, “¿Qué prescribes para infecciones por *Pseudomonas*?”. La respuesta podría ser el citar la regla de terapia listada en la sección previa.

Sin embargo, el usuario no puede acceder al conocimiento estático contenido en listas simples y tablas de conocimiento. También los mecanismos para crear las listas de terapias y elegir la droga preferida son funciones LISP complejas que el usuario no puede inspeccionar, y probablemente, si pudiera, no las entendería. Finalmente, el orden en el cual las reglas son consideradas para aplicarlas, y el orden en el cual las condiciones de premisas son consideradas no son aspectos del sistema que el usuario pueda preguntar.

Volveremos sobre el tema de las explicaciones en una etapa posterior, cuando consideremos desarrollos más recientes asociados con MYCIN. Por ahora, es suficiente notar que las preguntas “POR QUÉ” y “CÓMO” proveen una base limpia e intuitiva para descubrir cómo funciona un programa de consulta basado en reglas. Sin embargo, se debe tener en mente que este acercamiento no cubre cada aspecto de las funciones del sistema, y que se mantienen ciertos problemas con respecto a realizar explícitas y accesibles ciertas decisiones de diseño asociadas con la organización del conocimiento en la actual implementación del programa.

4. El sistema de adquisición de reglas

La versión de 1976 de MYCIN permite a un experto ingresar una nueva regla de decisión o cambiar una regla existente. El usuario puede ingresar reglas en el formato inglés usado para propósitos de presentación, y el programa las traducirá en su representación LISP correspondiente. El mantenimiento interno del indizado requerido por las estructuras de conocimiento estático que representan los parámetros

clínicos también es hecho por el programa. Así, el número que referencia a una nueva regla será agregado a la lista LOOKAHEAD para todos los parámetros mencionados en la premisa. Similarmente, este número será agregado a la lista UPDATED-BY para todos los parámetros mencionados en la acción.

En su libro, *Shortliffe* también discutió planes para proveer facultades más sofisticadas para verificar los efectos de agregar una nueva regla a un conjunto existente de reglas. Por ejemplo, una regla nueva puede introducir una contradicción dentro del conjunto, o puede incluir una regla existente, llevando a redundancia, o puede ser incluida por una regla existente, siendo por tanto redundante por sí misma. Cuando una base de conocimiento contiene cientos de reglas, no es fácil para el experto anticipar los efectos de la adición de una o más reglas nuevas.

Estos planes fueron ampliamente realizados en un sistema llamado TEIRESIAS, desarrollado por *Randall Davis*, que está diseñado para ayudar a un experto a depurar y llenar el conjunto de reglas de un sistema experto existente como MYCIN (ver *Davis and Lenat*, 1980). También usa generalizaciones acerca de la estructura de reglas existentes para generar expectativas acerca de qué parámetro clínico debería ser referenciado por un tipo particular de regla, y cuáles son los valores típicos para dichos parámetros. TEIRESIAS es descrito más detalle en el siguiente capítulo.

5. Evaluación de MYCIN

Ya en 1974, un estudio inicial usando la versión actual de MYCIN produjo resultados animosos. Un panel de cinco expertos en el diagnóstico de enfermedades infecciosas aprobó el 72% de las recomendaciones de MYCIN sobre 15 casos reales de *bacteremia*. El principal problema no fue la exactitud del diagnóstico, sino una falta de reglas para juzgar la severidad de la enfermedad.

En 1979, estudios más formales de un sistema mejorado mostraron que el desempeño de MYCIN se comparaba favorablemente con aquél de expertos en pacientes con *bacteremia* y meningitis. Las conclusiones finales del programa de diez casos reales fueron comparados con aquellas de los médicos de *Stanford*, incluyendo la terapia administrada. Se le pidió a otros ocho expertos que tasaran las diez recomendaciones de terapia para cada uno de los casos y concedieran una puntuación de hasta 80 para cada conjunto de recomendaciones, sin saber cuál provenía de un computador, si la había. Los resultados se muestran en la figura 2.

Ratings by 8 experts on 10 cases

Perfect score = 80

MYCIN	52	Actual therapy	46
Faculty-1	50	Faculty-4	44
Faculty-2	48	Resident	36
Inf dis fellow	48	Faculty-5	34
Faculty-3	46	Student	24

Unacceptable therapy = 0

Equivalent or acceptable therapy = 1.

Figura 6.2: Desempeño de MYCIN comparado con expertos humanos.

Las diferencias entre el puntaje de MYCIN y aquellos de los expertos de *Stanford* no fue significativa, pero su puntaje es tan bueno como el de los expertos y mejor que el de los médicos no expertos.

Sin embargo, MYCIN no es actualmente usado en consultorios por ciertas razones, dentro de las cuáles se incluyen:

- * si la base de conocimiento está incompleta, ya que no cubre nada del espectro completo de enfermedades infecciosas;
- * ejecutarlo requiere más poder computacional que el que la mayoría de los hospitales pueden enfrentar.

Su tiempo de ejecución es aceptable en grandes máquinas tales como DEC-10s y DEC-20s: una consulta puede tomar un cuarto de hora en el terminal. En cualquier caso, la naturaleza interactiva del programa lo hace altamente ligado a entrada/salida. Sin embargo, el lenguaje en el que está escrito, INTERLISP, es lento y pesado en memoria comparado con los lenguajes de programación convencionales, y podría esperarse que el desempeño del sistema se degrade tan rápidamente como una función del número de usuarios en un ambiente de tiempo compartido.

Consecuentemente, no es realmente factible intentar una evaluación del costo de una consulta MYCIN en terreno. Por otro lado, el costo del poder computacional está cayendo todo el tiempo, y ahora hay disponibles máquinas poderosas mono-usuario. Si MYCIN nunca encontrara su espacio en los consultorios, re-implementarlo en tales máquinas parece ser la principal alternativa.