

Capítulo 3. Metodología. Modelo estadístico. Observación.

- 3.1 Estrategia general
- 3.2 Atributos, descripción y ambigüedad
- 3.3 Sistema de coordenadas ortogonales
- 3.4 Clarificación de la evidencia
- 3.5 Transformación de los datos y entropía
- 3.6 Proceso dirigido y Teorema de Bayes
- 3.7 Competencia y zona de desarrollo próximo
- 3.8 Destreza, interpretación y ensayo
- 3.9 Inventario de conceptos
- 3.10 Consecuencias programáticas

3.1 Estrategia general

§ Proceso y producto.

El propósito de nuestro diseño es controlar el comportamiento de un conjunto de variables relacionadas con la calidad de un proceso de enseñanza–aprendizaje. Algunas de estas variables son «manifiestas» y otras, «latentes». Identificaremos, mediante un modelo complejo en el que se incorporan tres modelos distintos, aquellas que resulten más relevantes para evaluar la efectividad del sistema visto como un todo, observando el efecto de ajustes específicos tendientes a regular su comportamiento. Tales ajustes son generados a partir de metas de aprendizaje específicas definidas con base en la metodología del “diseño en retrospectiva” (Wiggins & McTighe, 1998). Para ello valoraremos cada vez en tiempo presente una propuesta congruente, definida con base en el instrumento cuyo proceso constructivo es materia de este trabajo, que la relaciona con la estructura y la dinámica que esperaríamos de un ambiente efectivo. La selección de los rasgos externos del proceso que ahora serán evaluados, se adhiere a

un modelo integral del ambiente (Fink, D., 2003) como la metodología a seguir. El diseño del instrumento se desarrollará asumiendo que una vez puesto en marcha el mismo aportará la información necesaria para planear cada ensayo sucesivo.

De la conjunción de las nociones de proceso y producto se deriva una caracterización operativa fundamental para nuestro diseño. Sirva la descripción contenida en el siguiente ejemplo para sugerir la distinción entre estos dos aspectos, importante en la representación de la tarea del diseñador que este trabajo procura elaborar:

“Piénsese, por analogía, la relación que existe entre un mapa y las exploraciones y reconocimientos de los cuales es resultado. Las exploraciones y reconocimientos corresponden al proceso. El mapa es el producto. Una vez construido, puede utilizarse sin más referencia a los viajes y expediciones de los cuales es fruto... Ahora, el mapa es todo aquello, presente ante usted a la vez. Acertadamente se lo podría denominar la *forma* de todos los viajes especiales de un sitio a otro que puede realizar cualquier número de personas. Además, cuando una persona viaja, el mapa, con tal de que se sepa utilizarlo, sirve como comprobación de la posición del viajero y como guía para sus movimientos. Pero no le dice a dónde ir; son los deseos y planes del viajero los que determinan su meta, así como es su pasado lo que determina dónde se encuentra ahora y de dónde debe partir”.

(Dewey, J., 1989, p. 79)

La función que cumple la metáfora del mapa, como indicador de “lo que debería estar ahí” en la forma de todos los viajes, es la meta de nuestra indagación en lo que sigue.

En nuestro caso el diseñador empieza por reflexionar sobre los resultados, los insumos y los productos en torno a un proceso que va a constituirse mediante ensayos subsecuentes, siguiendo el concepto de la «evaluación formativa». La evaluación se aplica sistemáticamente a un proyecto integral orientado a la mejora continua de un modelo que busca asegurar determinada representación de la calidad para la educación en el aula. De acuerdo con este modelo se fijarán límites a la estructura del

ambiente de enseñanza–aprendizaje tendientes a facilitar la aplicación reiterada y frecuente del instrumento, restringiéndola a un tipo de didáctica que incluirá como recursos fundamentales los siguientes: diseño integral, definición de metas en retrospectiva, método de indagación inductivo, solución de problemas poco estructurados, aprendizaje activo y trabajo cooperativo en el aula. A cambio de la complejidad así acotada es posible dedicar más atención al ejercicio del pensamiento reflexivo, buscando el perfeccionamiento de la meta, donde se asume que radica la efectividad del diseño.

Debe quedar claro que nuestro propósito consiste en observar el proceso tal como es, para evaluarlo con la ayuda del modelo teórico que nos ha de facilitar la interpretación, no espera que la teoría tras el modelo nos diga lo que el objeto de estudio debería ser. En cambio, la estructura que el lenguaje algebraico nos sugiere se asocia al producto y constituye un recurso constructivo útil, que es preciso identificar y describir.

3.2 Atributos, descripción y ambigüedad

§ Atributos, descripción y ambigüedad.

Continuemos nuestro análisis, enfocando sobre el «conocimiento» con la lente del modelo HPL (Bransford J. et al, 2000, p. 134), atendiendo ahora al proceso y al producto bajo el esquema del modelo holístico para evaluación de la calidad. Hagámoslo con el propósito de observar cómo el éxito obtenido (el producto) cuando se intenta regular el sistema desde cada pieza del “rompecabezas” (el proceso) aporta un elemento de juicio relevante para la construcción del ambiente de enseñanza–aprendizaje.

La capacidad de percibir esta clase de condición bivalente (verificar si el elemento probado resulta efectivo, o no) está vinculada, aunque de una manera implícita, con la definición que hemos adoptado para el término «conocimiento» (Driankov et al, 1996, p. 21). En efecto, esta definición de «conocimiento» puede transformarse, al abordarla desde la perspectiva del aprendizaje, para que adquiera la siguiente forma:

El aprendizaje presupone la existencia de un proceso cuyo significado se sugiere al entendimiento del aprendiz a través de un comportamiento o su representación. El aprendiz responde al estímulo realizando un conjunto de observaciones que luego combina con alguna creencia³⁰ o conocimiento previo, para construir una representación en la que finalmente logra embonar una interpretación razonable del objeto, evento o situación, después de validarla probando distintos atributos del mismo con algún criterio apropiado.

Ejemplifiquemos, describiendo un comportamiento sugestivo a propósito de la función del pensamiento que se materializa cuando el aprendiz pone en juego los recursos a los que se refiere el enunciado anterior. Esa función se denomina «clasificación»³¹ y es la que aprovecharemos para discernir si el aprendizaje ocurre o no. El verbo *ocurrir* denota aquí el presente progresivo y no, la culminación del proceso.

Empecemos por observar que el estímulo disparador del proceso de aprendizaje puede ser cualquiera, siempre que permita provocar en el aprendiz un desequilibrio cognitivo inicial³² (Piaget, J., 1977). De ahí que tenga sentido adoptar la «clasificación» como método básico para construir nuestra representación del proceso. La descripción de tal estímulo, al igual que la de cualquier objeto, evento o situación, es una colección más o menos numerosa de rasgos o atributos diferentes, a partir de cuya conjunción³³ es posible construir una noción aproximada del fenómeno. Nótese que el observador puede dar mayor importancia a algunos rasgos y menor a otros, en cuyo caso

³⁰ Dice Dewey: “No es necesario insistir en la importancia de la creencia. Abarca todas las cuestiones acerca de las cuales no disponemos de un conocimiento seguro, pero en las que confiamos lo suficiente como para actuar de acuerdo con ellas, y también cuestiones que ahora aceptamos como indudablemente verdaderas, como conocimiento, pero que pueden ser cuestionadas en el futuro, de la misma manera que ocurrió con lo que en el pasado se tenía por conocimiento y hoy ha quedado relegado al limbo de la mera opinión o del error”. (Dewey, J., 1989, p. 24)

³¹ En algunos contextos también se le denomina «categorización».

³² Tal vez en el extremo está la metáfora del “lienzo en blanco” sobre el caballete, que puede provocar una sensación de inquietud en el pintor, llevándolo a ensayar algún trazo.

³³ La conjunción de dos conjuntos está definida por la presencia simultánea en la muestra observada de los elementos que los constituyen.

cualquiera que sea el valor que se otorgue a la conjunción de los atributos ($x_1 x_2 x_3 \dots x_n$) ésta llevará asociado el peso de los factores de ponderación, ($w_1 w_2 w_3 \dots w_n$), como una suma de productos.

Lo anterior se sostiene aún cuando el objeto se exhiba sin acompañarlo de comentario alguno. Así que, tanto aquello que el docente propone al aprendiz, como lo que el aprendiz logra extraer del ambiente de aprendizaje, son descripciones. Y aunque la «interpretación» puede subsecuentemente someter cualquier descripción a distintos procesos básicos, tales como «relacionar» o «jerarquizar», la «interpretación» siempre tendrá como punto de partida una «comparación» de atributos, ponderados o no.

Como se describirá a continuación, este producto, al que identificamos como un «signo», porque le podemos atribuir algún «significado» arbitrario según sea el caso, puede expresarse en los términos de un producto de dos vectores: el peso y los atributos. Podemos ver que el “signo” a su vez es un vector.

Conservando el enfoque del modelo HPL (Bransford, J. et al, 2000, p. 134) sobre el «conocimiento» consideremos un segundo aspecto al llevar adelante nuestro análisis en torno a la «clasificación». Bajo el esquema del modelo holístico atenderemos ahora a los insumos.

Si bien una representación gráfica permite expresar de manera simultánea el conjunto de atributos requerido para integrar una descripción amplia del objeto, cuando se recurre a la expresión oral o escrita resulta indispensable enunciarlos de manera secuencial.

Una referencia a la memoria, inmediatamente seguida por una «comparación», nos llevan a pensar que *si el número de atributos y el orden en que se les enuncia fuesen siempre los mismos, la descripción del objeto, evento, o situación tendría una estructura similar a la de un «vector»*. Esta característica de la descripción es más evidente en el

enunciado oral o por escrito, donde el resultado del proceso es una enumeración o listado.

La lista de atributos, cuyos enunciados normalmente se enumerarían renglón tras renglón, por simplicidad suele representarse simbólicamente con una estructura traspuesta, en la cual se intercambian uno a uno los renglones por columnas:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Lista de atributos} & \bar{F} = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{pmatrix} & \xrightarrow{\text{trasposición}} & \bar{F}^T = (A_1, A_2, \dots, A_m) \\
 \text{"vector columna"} & & & \text{"vector renglón"}
 \end{array}$$

Esta expresión matemática ofrece la ventaja de traer asociada una representación gráfica, donde el «vector» corresponde a la noción abstracta de un segmento dirigido que va desde el origen hasta un punto situado en las coordenadas (A_1, A_2, \dots, A_m) de un espacio que en nuestro contexto se denomina «espacio de los datos de entrada». La naturaleza espacial de esta clase de representación hace evidente la necesidad de que el contexto “gráfico” donde el vector se va a representar cumpla con las siguientes dos condiciones:

- (1) Debe tener tantas dimensiones como el número de atributos requeridos para describir³⁴ por completo al vector, en este caso $d = m$.
- (2) Todas estas dimensiones deben ser mutuamente independientes entre sí.

³⁴ La descripción llana que hacen Harman y Kulkarni (2007, p. 31) ilustra esta condición:

“Cada atributo observable puede ser tratado como una dimensión en el *espacio de configuración* D-dimensional. Si hay un solo atributo, el *espacio de configuración* es uni-dimensional, una línea. Un punto en el *espacio de configuración* tiene una sola coordenada F representando el valor de esa característica. Si hay dos atributos, F1 y F2, el *espacio de configuración* es el plano bi-dimensional y cada punto tiene dos coordenadas, una coordenada F1 y una coordenada F2, indicando los valores de esos dos rasgos característicos. Si hay tres atributos, F1, F2 y F3, un punto en el *espacio de configuración* tri-dimensional tiene una coordenada F1 representando el valor del atributo F1, una coordenada F2 representando el valor del atributo F2 y una coordenada F3 representando el valor del atributo F3.”

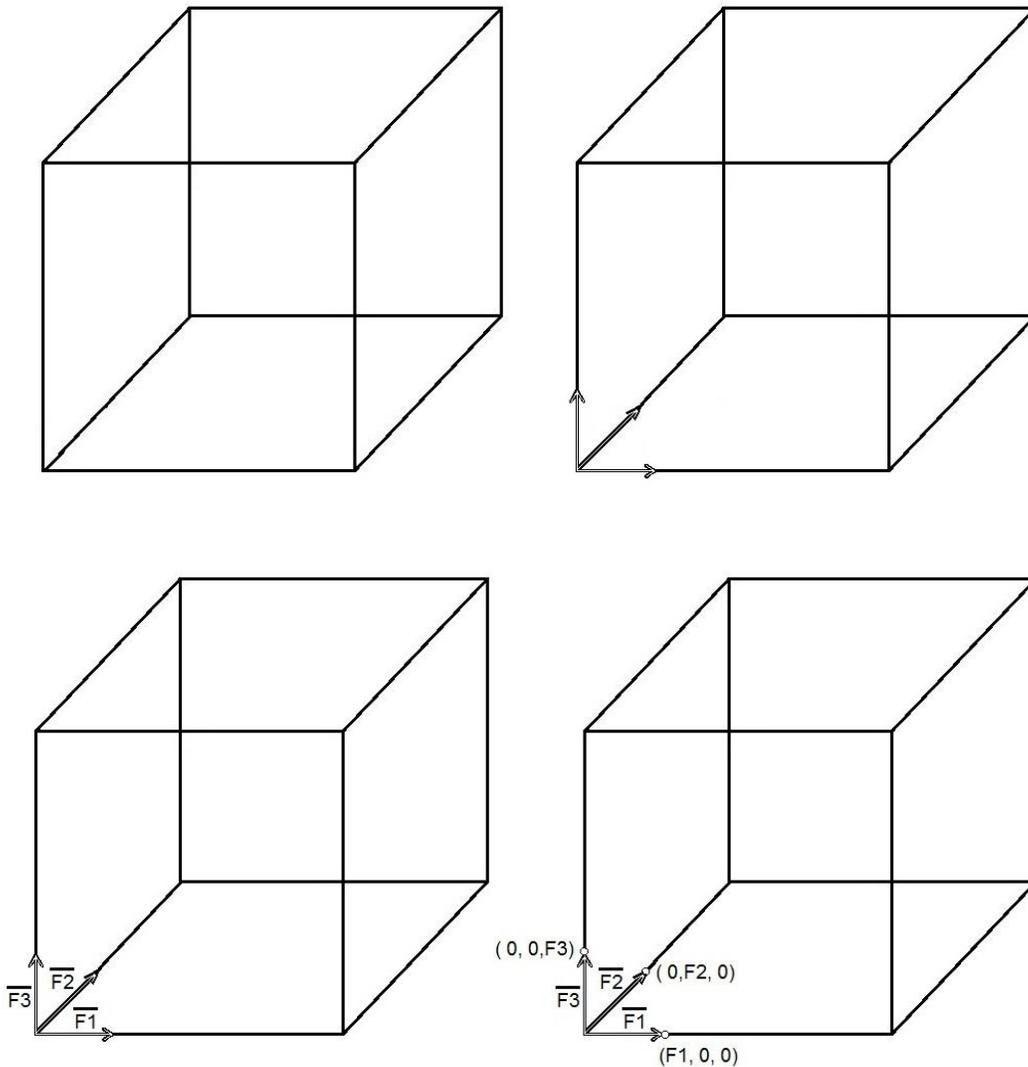
Hemos identificado tres aspectos fundamentales de la descripción que son indicadores útiles para la calidad en cualquier representación del proceso de aprendizaje: (1) está el conjunto de atributos que permite componer una descripción; (2) está la naturaleza secuencial de la representación, cuando se trata de una descripción oral o por escrito; y, por último, (3) está la posibilidad de representarla como una estructura vectorial, con todas las ventajas que el lenguaje simbólico del álgebra puede ofrecer.

Un punto que podría requerir consideración adicional radica en la segunda condición que se ha mencionado con referencia al contexto espacial en que la descripción se va a representar. La característica de ser “mutuamente independientes” significa literalmente eso, que ninguno de los atributos que integran la descripción del objeto depende de otro, es decir, que representados en una gráfica todos ellos son perpendiculares entre sí. En otras palabras, que ninguna de sus componentes es paralela a cualquier de los demás. Esta noción podría resultar difícil de visualizar cuando el número de dimensiones supera tres. Una vez más, la representación gráfica permite identificar el significado de una noción que es complicada, al ayudarnos a ver simultáneamente el conjunto completo de atributos en un nivel inmediatamente accesible y apoyar sobre esa base un proceso subsecuente de inducción (Figura 3.1)

El ejemplo propuesto en la Figura 3.1 muestra una secuencia de cuatro figuras cúbicas en el espacio tri-dimensional. Obsérvese que para generar esta descripción se está recurriendo a una representación bi-dimensional (el dibujo sobre la hoja de papel), tal como lo requiere la definición del espacio antes mencionada. En efecto, dado que la definición contiene dos atributos –el número mínimo de dimensiones y la ortogonalidad entre todos ellos– la representación puede ser expresada sobre un plano, como el lienzo sobre el que se ha trazado la Figura 3.1.

En este dibujo se *sugiere* la noción de perspectiva, que en nuestra representación está implícita, de manera que el gráfico *parece mostrar* tres ejes perpendiculares entre sí. Mediante este artificio inductivo se pretende describir un espacio donde cada punto

puede definirse mediante tres valores que corresponden, respectivamente, a la longitud de los vectores base sobre cada una de las tres direcciones ortogonales F_1 , F_2 y F_3 .



13 Figura 3.1 Ortogonalidad, vectores base y puntos sobre las aristas de un cubo.

Hay que observar que el método para inducir esa noción nos lleva a elaborar un «mapa conformal», que es una operación como la que ocurre durante la composición material de la imagen de televisión, donde el conjunto de puntos luminosos en una pantalla de video a color permite representar un “espacio de configuración” con una cantidad enorme de dimensiones. Esto puede comprenderse tomando en cuenta que si la

cantidad de puntos que constituyen cada línea horizontal es un número W y la cantidad de líneas horizontales que caben en la pantalla es H , resulta que se requieren $W \times H$ elementos de información para integrar cada imagen desplegada ante el observador. Este valor se triplica cuando se considera que cada punto (pixel) contiene tres fuentes emisoras de color, con los tintes verde, rojo y azul (formato RGB). Hay que agregar que a cada punto dentro del marco se le tiene que asociar el dato correspondiente al valor promedio de la intensidad luminosa en toda la pantalla y si la gama para cada tinte contiene varios valores, la dimensión se multiplica proporcionalmente. Un número típico podría ser 2^8 , es decir, $d = 256$.

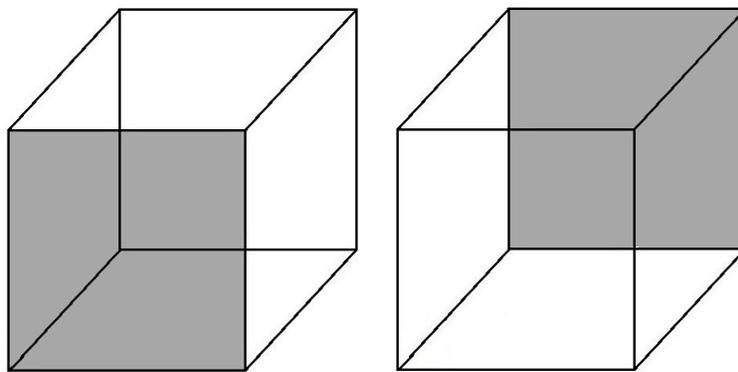
Como veremos más adelante, al referirnos a los métodos *kernel*, este complejo proceso puede permanecer oculto en el trasfondo del «conocer». La experiencia como usuarios de esta clase de artificios nos permite comprobar la facilidad con que cualquier espectador es capaz de interpretar instantáneamente el caudal de información dinámica que el patrón codificado de la TV presenta más de veinte veces por segundo, sin tener que realizar los complicados cálculos que se requeriría hacer en aquella dimensión.

Existe otra forma de expresar la condición de ortogonalidad, que es de uso general en el álgebra vectorial y se basa en la noción del «producto interno» entre dos vectores, cuya definición representa la proyección de un vector sobre otro. Decir que “el producto interno” entre dos componentes vale cero equivale a decir que estos vectores son “mutuamente independientes”, o “perpendiculares entre sí”. Así que se entiende por “producto interno” la proyección ortogonal de una componente sobre la otra.

Veamos otro aspecto relacionado con las descripciones, al que hemos recurrido para ejemplificar, que por su naturaleza merece consideración aparte.

En las descripciones anteriores hemos utilizado, sin mencionarlo, el cubo de Necker³⁵. En la Figura 3.1 podemos ver cómo nuestra imaginación puede alterar de manera aparentemente aleatoria el proceso de observación.

El poder de nuestra mente, agente activo en el proceso de conocer, organiza los bloques de construcción de tal manera que el sistema contiene atributos que no se encuentran en los elementos de la construcción, algo que no necesariamente hace a partir de inferencias, como ocurre con los sistemas formales.



14 Figura 3.2 Cubos de Necker con énfasis aparente en dos pares de caras opuestas.

Si se observa la Figura 3.2 es posible apreciar el efecto de la intervención creativa en ese proceso: de manera espontánea se genera una duplicidad en la interpretación del énfasis.

Ambigüedades de esta clase resultarían inadmisibles en procesos de comunicación donde la calidad de las descripciones es crítico, a menos que intencionalmente se les esté utilizando para estimular la recolección de recursos, por ejemplo, en un proceso de modelado.

Con la fluidez que lo caracteriza, el agente lúdico encontrará el cauce más sugerente.

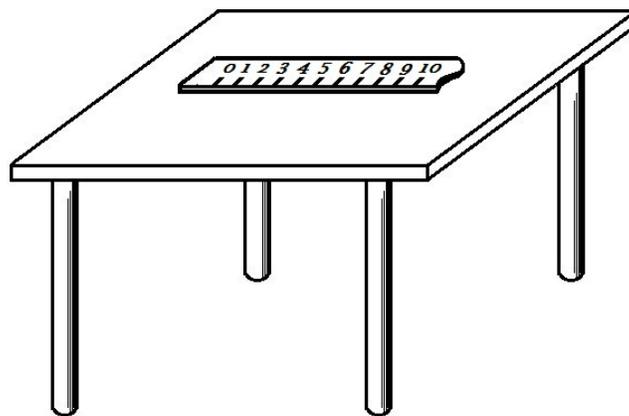
³⁵ Louise Albert Necker, cristalógrafo suizo, publicó en 1832 esta imagen bidimensional que crea la ilusión de dos proyecciones de un objeto tridimensional.

Así que para provechar su potencial hay que prever ese flujo por anticipado. Pero la previsión de un cauce plantea un problema con dos vertientes. Primero hay que clasificar. Es decir, hay que responder a la pregunta ¿qué clase de canales de conducción son apropiados? Luego hay que determinar cuál de todos ellos es el óptimo.

3.3 Sistema de coordenadas ortogonales

§ Un sistema de coordenadas “derecho”.

No es sencillo enunciar un procedimiento general para resolver un problema como este. Tal vez es más sencillo analizar cómo se ha resuelto una situación semejante. El artificio matemático que propone la rotación en sentido contrario a las manecillas del reloj como base para definir la dirección ortogonal “positiva” en un sistema coordenado “derecho” puede sonar como algo complicado pero es una solución aplicable al cubo de Necker y como veremos, permite resolver de manera sistemática la ambigüedad. La Figura 3.3 nos servirá de referencia.



15 *Figura 3.3 Posición normal de la escala de medición, “de izquierda a derecha”.*

Pensemos en el comportamiento profesional de cualquier artesano que normalmente trabaja sobre una mesa, como lo haría un carpintero o un sastre. Esta persona mide sus materiales colocándolos sobre un plano horizontal cada vez que va a hacer un

corte. Al examinar en «retrospectiva» su procedimiento de trabajo podemos ver que el artesano extiende su escala de medición “de izquierda a derecha” sobre el género, para luego marcar una distancia a partir de un punto de referencia, que corresponde al cero u origen sobre la regla que esté usando (Figura 3.3). Obsérvese que la operación de extender la regla tal como lo acabamos de describir lleva implícito el concepto de que el artesano es “derecho”. Recordemos que estadísticamente los “zurdos” son minoría.

De manera igualmente arbitraria se podría asumir que un artesano “zurdo” la extendería en sentido opuesto, aunque esta operación parecería contradecir a la noción estandarizada.

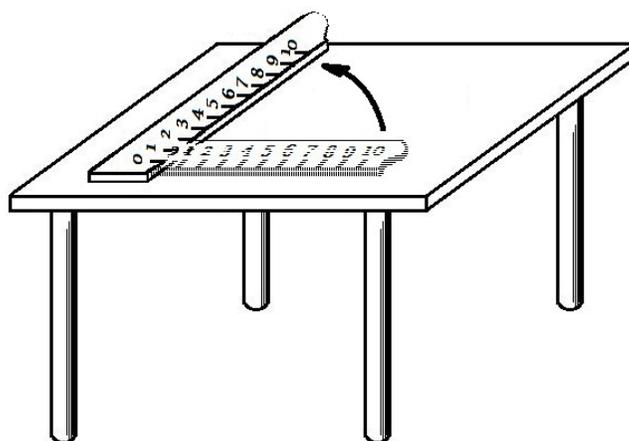
Nótese que una cuestión relevante en este punto sería ¿en cuál de los lados de la mesa se sitúa el artesano que está creando la imaginación de quien interpreta nuestra descripción? La Figura 3.3 lo sugiere.

Si ahora se analiza paso a paso lo que el artesano hace para marcar una distancia en sentido “negativo” vemos que la escala será extendida de “derecha a izquierda”, operación que resulta equivalente a darle media vuelta a la escala, girándola mientras se mantiene fijo el origen³⁶. Convengamos en que la rotación de la regla siempre se llevará a cabo sobre un plano ortogonal al de referencia.

En este caso podemos ver que hay dos posibilidades: el giro de la escala es en el sentido de las manecillas del reloj, o bien, en sentido contrario.

En la Figura 3.4 se procura mostrar el segundo caso.

³⁶ Es común que los artesanos expertos operen sin invertir materialmente la escala y en cambio, realicen la operación aritmética de “restar”. Esto es equivalente al procedimiento que a continuación se explica.



16 *Figura 3.4 Rotación de la escala de medición (90°) en sentido “derecho”.*

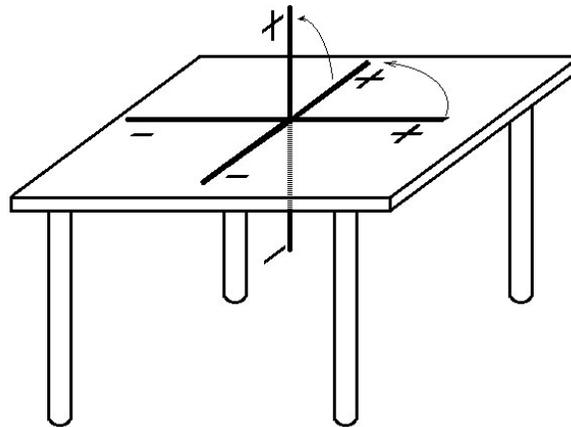
Desde luego que el giro podría ocurrir por encima de la mesa, o por debajo. Así que para simplificar, sólo consideraremos las operaciones realizadas sobre el plano horizontal representado por la superficie de la mesa.

Definiendo ahora como “positivo” lo que está “arriba” y “negativo” lo que está “abajo” desde el punto de vista del artesano, resulta que su mano derecha avanza en la dirección “positiva” cuando empieza a moverse en sentido contrario al de las manecillas del reloj al girar la escala, mientras mantiene fijo el origen con la mano izquierda. De la misma manera, la rotación en el sentido de las manecillas del reloj recibiría un signo “negativo”. Llevando la definición anterior un poco más adelante, si las marcas a la derecha del origen corresponden a posiciones en dirección “positiva”, resulta que las marcas a la izquierda del origen serán posiciones en dirección “negativa”.

¿Cómo podría el artesano discriminar entonces, distinguiendo las distancias “positivas” que están “arriba” de aquellas que están a la derecha del origen? ¿Y qué decir de las “negativas”?

– ¡Echando mano a la imaginación! – diríamos, porque eso es precisamente lo que se hace al visualizar la mesa de perfil.

Si imaginamos que la superficie de la mesa vista de perfil corresponde a la línea horizontal sobre la cual se colocó inicialmente la escala de medición, la dirección perpendicular a esta línea corresponde, desde el punto de vista del artesano, a lo que se sitúa por encima o por debajo de la mesa. Y al hacer coincidir el origen de las dos escalas trazadas sobre el plano de la mesa, el origen de la tercera escala, que hemos imaginado perpendicular a este plano, también coincide con ellos.

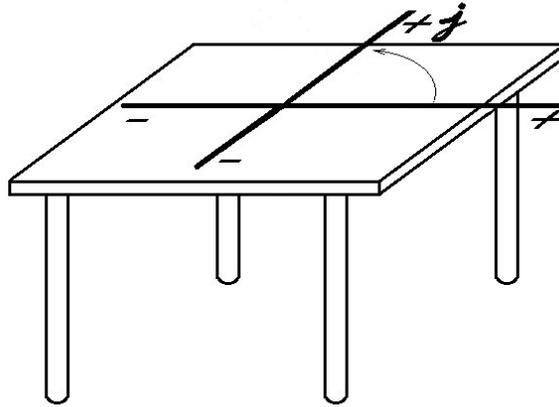


17 *Figura 3.5 Sistema ortogonal XYZ “derecho”.*

Si la regla del “signo positivo” para la “rotación en sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj” (viendo la carátula de frente) se respeta sistemáticamente para la secuencia ordenada de los ejes, p. ej., XYZ, el sistema ortogonal que resulta es el que se muestra en la Figura 3.5.

De hecho, el artificio matemático que se utiliza para expresar esta clase de operaciones se refiere a la dirección ortogonal denominándola así, “imaginaria”. Al definir el «plano complejo», el eje de los “números imaginarios” se genera mediante una rotación de 90° en sentido positivo. En el plano cartesiano el eje de los “números reales” corresponde al eje X, el eje de las abscisas, que se considera situado en la posición “normal”, horizontal. Entonces, el eje de los “números imaginarios” corresponde al eje Y, en el sistema cartesiano.

En términos de operadores matemáticos la dirección perpendicular a la posición normal del eje se especifica a partir de la noción del número real «opuesto», que en el lenguaje algebraico se expresa mediante el operador « -1 ». Así, el opuesto del número « $+a$ » se designa por « $-a$ ».



18 Figura 3.6 El plano complejo.

Conforme a la definición del producto, la expresión anterior equivale a aplicar el operador « -1 » al número « a ». Si el operador « -1 » equivale a una rotación de 180° del eje de los números reales a partir de su posición normal, el operador « $(-1)^{1/2}$ » (es decir, la raíz cuadrada de « -1 ») equivale a una rotación de 90° .

Nuevamente, conforme a la definición del producto, el operador « $(-1)^{1/2} = \sqrt{-1}$ » aplicado al operador « $(-1)^{1/2} = \sqrt{-1}$ » equivale a una rotación de 90° aplicada a una rotación de 90° , cuyo resultado corresponde³⁷ a « -1 ». Es decir, a 180° .

Al identificar con precisión de esta manera la fuente de ambigüedad, la creatividad del agente activo, que siempre estará presente, queda bajo control.

Las descripciones constituyen uno de los vínculos más importantes entre el diseñador del ambiente de enseñanza–aprendizaje y el aprendiz. Cabe afirmar que en el diseño de nuestro instrumento el diseñador y el aprendiz necesariamente tienen que concurrir cuando se trata de «clasificar» descripciones.

³⁷ Conforme a la ley de los exponentes.

Como hemos visto, esta tarea equivale a «comparar vectores» en la terminología a la que estamos recurriendo para representar formalmente el proceso de enseñanza–aprendizaje.

Hemos examinado, además de tres aspectos fundamentales de la «descripción», una de sus características más extrañas, en la que las transformaciones del significado pueden surgir de manera espontánea. También hemos visto que para «clasificar» las descripciones, el diseñador y el aprendiz requieren de un conjunto de reglas vigentes en común, que les permitan controlar ambigüedades en la «interpretación».

Consideraremos a continuación otro aspecto relevante de la «descripción», que se asocia con ciertas transformaciones observables en la estructura del significado. Estos cambios, a los que antes hicimos referencia, ocurren normalmente en el proceso constructivo del significado, como producto de las relaciones lógicas que la «interpretación» descubre en la combinación de sus contenidos con los elementos del contexto.

3.4 Clarificación de la evidencia

§ Transformaciones en la estructura, cambio conceptual, razonamiento inductivo.

El cambio conceptual es inherente al proceso que nos interesa controlar. Provocarlo, reconocerlo y seguir de cerca su desenvolvimiento son tareas relevantes que nuestro diseño debe abordar desde el primer momento. Intentemos reunir los elementos de aquello que esperaríamos que el aprendiz haga en respuesta a los estímulos que nuestro diseño le propone.

Con tal fin vamos a enfocar el análisis a través de la lente del «aprendizaje», al aplicar el modelo HPL (Bransford et al, 2000) mientras observamos la calidad del proceso bajo el esquema del modelo holístico. (Garduño, 1999).

Hemos de insistir en que la «explicación» del proceso de aprendizaje es ajena a nuestro diseño. Pero esto de ningún modo significa que la «explicación» dejará de desempeñar un rol central en el proceso de aprendizaje. La diferencia radica en que para los fines de nuestro diseño la «explicación» tiene que ser fruto de la tarea del aprendiz, mientras el docente se concreta a proveer, mediante el recurso de la «descripción», los elementos de juicio que la sugieran y faciliten su desarrollo.

La «explicación» se ha definido como una transformación, como un cambio razonado en la opinión referente a un objeto, evento o situación. Según Harman y Kulkarni (2007) los motivos para hacer cambios de esta índole son dos:

“Al menos dos cosas pueden llevarnos a hacer cambios razonados en nuestras creencias, cambios que son el resultado del razonamiento. Primero, podemos querer responder una cuestión sobre la cual no tenemos una opinión; el razonamiento a partir de nuestras creencias actuales puede llevarnos a incorporar una o más creencias nuevas. Segundo, podemos hallar que algunas de nuestras creencias son inconsistentes o están en tensión con otras; el razonamiento a partir de nuestras creencias en conflicto puede conducirnos a abandonar algunas de esas creencias.” (Harman y Kulkarni, p. 10)

Nuestra indagación se enfocará ahora en la actividad que la persona pone en juego al «conocer», sujetando el análisis a lo que requieren tanto la noción de «conocimiento» enunciada en la definición adoptada (Driankov et al, 1996), como el proceso de «interpretación» en el modelo del Triángulo (Pellegrino, J. et al, 2003) y el modelo para evaluar la calidad. (Garduño, L., 1999).

Desde el punto de vista holístico de la calidad, el objeto que se investiga ha de estar representado por un conjunto de atributos que permitirán identificar aquello que lo hace peculiar.

El criterio discriminante puede ubicarse tanto en el ámbito (interno) de las creencias, como en el (externo) de la observación objetiva durante el análisis. Para valorar su objeto de «conocimiento» el diseñador requiere de un punto de vista bien definido. Es indispensable contar con un criterio útil para la «interpretación».

§ Comportamiento intencionado.

Al modelar nuestro diseño como hemos hecho, el diseñador ha ocupado la posición central, evaluando. No se ha hecho hasta el momento referencia explícita al destinatario final del proceso.

¿Qué es lo que la persona pone en juego al «conocer», cuando esa persona es el «aprendiz» que hace uso del ambiente objeto del diseño?

Si se atiende al primer axioma de Ashby es posible validar una definición operacional del beneficiario, que nos permite incorporarlo de manera legítima a nuestro modelo integral.

La siguiente narrativa ejemplifica cómo la noción del «modelado funcional» puede sugerir y dar soporte al proceso constructivo de esa definición referente al beneficiario.

En el diseño de su “predictor antiaéreo”, Wiener y colaboradores (Gallison, P., 1994) transformaron el problema de perseguir y alcanzar un blanco dinámico incorporando en un mismo sistema dos servomecanismos³⁸ de naturaleza distinta.

Por una parte, los datos de ubicación espacial que servirán de base para calcular el disparo serán validados visualmente por el “artillero”, que apunta y acciona el gatillo. Mientras tanto, el mecanismo encargado de predecir la ubicación futura del blanco procura que la mira permanezca sobre el blanco elegido durante un tiempo suficiente como para que la probabilidad de lograr un impacto mejore.

³⁸ Literalmente, mecanismos esclavos.

Mientras esto ocurre, el “piloto enemigo” aplica toda su destreza para protegerse del fuego letal, que sólo puede alcanzarlo con un retardo de varios segundos. Durante las maniobras evasivas, la aeronave se resiste a ellas como si poseyera una “intención” o “voluntad propia” que está relacionada con características aerodinámicas inherentes, incorporadas a su diseño para garantizarle cierta estabilidad, típicamente en las condiciones reales de un vuelo de crucero. Otro tanto ocurre con el actuador mecánico, encargado de desplazar el arma y la mira hacia una nueva posición de tiro. En síntesis, ambos servomecanismos se muestran sistemáticamente renuentes a responder al mando.

Wiener y asociados partieron de la misión del “artillero” al construir su prototipo, optando por transformar la representación del agente psicológico, correspondiente al comportamiento asociado con la destreza del piloto en actitud evasiva, al “cálculo de trayectorias posibles”. Es decir, llevaron el problema de “mantener el blanco en la mira” al dominio de una representación matemática con naturaleza probabilística. Si bien el artillero podía mejorar su desempeño mediante el entrenamiento, la trayectoria que elegiría el piloto sólo podría suponerse. Por lo tanto en el diseño del arma se recurrió a la simulación de un comportamiento de fuga, utilizando el registro de maniobras ejecutadas por algunos pilotos expertos para proveer a la máquina con un “entrenamiento previo” que permitiese mejorar la habilidad persecutoria del sistema.

Como puede verse, al final siempre queda algún problema: las aeronaves utilizadas para generar la simulación en este “ambiente de aprendizaje” sólo podrían ser similares a las que el sistema tendría que perseguir en el mundo real, ...a menos que los “aliados” secuestraran alguna de las naves del enemigo y... tal parece que los expertos tripulantes sólo podrían ser “pilotos aliados”.

Evaluemos ahora la perspectiva del piloto desde la doble función del «modelo» en el proceso de «conocer», mencionada en la Sección 2.4: (1) como indicador de “lo que debe estar ahí”; y (2) como indicador de “lo que está ahí”.

Al hacer que su aeronave realice súbitamente un giro, el piloto no experimenta “desde fuera” la aceleración. El piloto no percibe el fenómeno asociado con el «comportamiento intencionado» de la aeronave desde el punto de vista del observador que evalúa “lo que está ahí” resistiéndose al cambio de actitud que se le demanda. Lo que el piloto experimenta es cómo su cuerpo es aplastado contra el asiento, o es materialmente arrastrado por el arnés de seguridad. La “imagen–esquema” de esta percepción representa “lo que debería estar ahí”. Podemos ver de dónde proviene la capacidad de la ciencia para elaborar hipótesis y cómo, al adoptar la noción del «comportamiento intencionado» en calidad de criterio para la evaluación, tendremos que aplicar el modelo cognoscitivo en sentido inverso al de su significado connotativo, que es el que corresponde al modelo indicativo de “lo que está ahí”. Entonces:

Si el destinatario del ambiente de enseñanza–aprendizaje es un observador que como resultado de su participación ha de reconocer en el ambiente “lo que debería estar ahí”, la tarea del diseñador consiste en plantear ejercicios de entrenamiento capaces de estimular un cambio conceptual en la descripción con la cual el observador representa su zona de confort, dirigiéndolo hacia la noción definida como “blanco”.

En *Behavior, Purpose, and Teleology* Wiener, Rosenblueth y Bigelow proponen la siguiente definición del «comportamiento intencionado»:

“El término [*purposeful*] pretende indicar que un acto o comportamiento puede interpretarse como dirigido a la consecución de una meta – es decir, a una condición final en la que el objeto alcanza una correlación definida en el tiempo o en el espacio con respecto a otro objeto o evento”. (Wiener, N. et al, 1943, p. 18)

La noción del “comportamiento intencionado” nos permite representar al “aprendiz” usando términos operacionales. El diseñador puede así incorporar al beneficiario final del ambiente que está modelando, de tal manera que las componentes subjetivas del objeto observado pueden quedar al margen de la descripción. En efecto, el aprendiz es objetivizado cuando se le percibe como un comportamiento. Sólo hay que asegurarse

de que el término “intención” sea desprovisto de cualquier sesgo psicológico, operación en la que el esquema mental de la “aeronave perseguida” resulta de gran utilidad.

Con base en esta transformación podemos aplicar la noción del «modelo», en su doble función dentro del proceso de «conocer», para identificar la situación del sujeto en la construcción de significados. Así:

El “observador aprendiz” interviene pasivamente como sujeto en primera persona en el diseño y en la puesta en práctica, siendo el “diseñador” el sujeto activo en ellas. A su vez el “participante aprendiz” interviene propositivamente como sujeto en segunda persona, en el diseño y en la puesta en práctica en el aula. Y simultáneamente el “observador-participante” interviene como sujeto en tercera persona, al ponerse en práctica el ambiente planeado por su diseño.

Procede entonces preguntarnos si es posible definir un procedimiento de medición para el intangible que nos interesa evaluar a partir de la perspectiva múltiple recién descrita y, con el criterio de maximizar cierto margen dentro del proceso de clasificación que se desenvuelve en la «zona de desarrollo próximo» de quien actúa sujeto a las restricciones de un «comportamiento intencionado». El problema consiste, pues, en optimizar el valor de una función «objetivo» que representa la efectividad del ambiente de enseñanza–aprendizaje, en un contexto cuya reacción total al cambio se caracteriza como un «comportamiento intencionado».

Por cierto ¿dónde situaría el lector el «comportamiento intencionado» atribuible a la propia aeronave, si el “predictor antiaéreo” fuese montado a bordo de un avión de caza similar al del enemigo?

El modelado funcional pone en evidencia un conjunto de relaciones causales vinculadas al objeto de «conocimiento». Estas nos permiten identificar rasgos característicos del “razonamiento inductivo”, una clase de «comportamiento intencional» que nos interesa cultivar y, por consiguiente, resulta del mayor interés para los fines de nuestro diseño.

Explorando en busca de un contraste, encontramos cómo Rudolph Carnap (1960) sitúa a la «inducción» en el dominio de una «relación lógica»:

“El problema de la inducción... esencialmente es el mismo que el problema de la relación lógica entre una hipótesis y alguna evidencia que la confirme.” (Carnap, R., 1960, p. 2)]

§ Razonamiento inductivo.

En general, la investigación centrada sobre la facultad de «conocer» puede encontrarse en diversas escuelas. El evaluador, ya se trate del docente o del aprendiz, puede optar por una u otra perspectiva filosófica para valorar los objetos involucrados en el proceso constructivo de sus ideas, interpretando sobre esa base el conjunto de atributos que le permitirán definirlos y calificarlos. Frente a esto, siempre es posible comprender las cosas sin haber comprendido realmente la facultad de «conocer», o tener sentido musical sin conocer los principios y leyes de la acústica, o llevar una vida saludable sin saber de Fisiología.

Similarmente, podríamos intentar poner en práctica una «interpretación» de la actividad cognitiva sobre la base de una metáfora del fenómeno de transporte. ¿Por qué precisamente del fenómeno de transporte? Recordemos cómo en nuestra «interpretación» de la noción de «conocimiento» (Driankov, Hellendoorn & Reinfrank, 1996, p. 21) identificamos la condición necesaria de contar con la estructura conceptual de un «modelo» para acceder al «conocimiento». Pero, como pudimos «observar» en aquella ocasión, el «modelo» a su vez es lo que define el «conocimiento». Así que resulta tentador pensar metafóricamente en alguna clase de «desplazamiento»³⁹ en relación con la «sugerencia» de ese origen externo a la totalidad del proceso, que el destinatario puede descubrir.

³⁹ La «interpretación» que se dará aquí al «desplazamiento» es en el sentido de un «enriquecimiento o vaciamiento» de la carga eléctrica, en las descripciones de la Teoría Electromagnética.

Abordaríamos esta tarea definiendo el “razonamiento inductivo” como la *actividad que realiza el aprendiz a medida que cambia de opinión al procesar los datos que el ejercicio de entrenamiento le provee*, en una paráfrasis de Harman y Kulkarni (2007).

La actividad cognitiva del aprendiz en el entrenamiento puede considerarse como la “función producto” del ambiente de enseñanza–aprendizaje objeto de nuestro diseño. Como ventaja adicional, en caso de requerirse, esta “función producto” fácilmente podría descomponerse en varias “sub–funciones” derivadas.

En el «diseño funcional» este cambio de opinión representa un “flujo”, concepto que incorpora dos atributos generalmente asociados con el fenómeno de transporte: intensidad y dirección.

Un desplazamiento que se manifiesta con determinado ímpetu en cierta dirección corresponde, en la metáfora, al «desplazamiento» en las creencias vinculadas con el contenido específico materia del aprendizaje. Las «descripciones» se mueven de un punto a otro dentro del espacio de estados del sistema que representa al modelo de «conocimiento». Evocando la representación vectorial, cada «descripción» corresponde a un segmento dirigido desde el origen hacia un punto determinado, para constituir un sistema que tiende a permanecer en reposo. De esta manera, normalmente el “flujo” es un fenómeno localizado y de baja intensidad, en el que no se observa turbulencia, aunque podría percibirse cierta fluctuación.

La siguiente «descripción» enumerativa nos permite reconocer algunos rasgos del sistema cognitivo mientras este opera en torno a su condición de “homeostasis”. Podemos ver cómo los investigadores aportan en ella un punto de vista algo más cuantitativo al valorar la noción del “razonamiento inductivo”. Así:

“La inducción es una clase de cambio razonado de la opinión en la que el cambio relevante puede incluir sustracción lo mismo que adición... Es obvio que el

razonamiento tiende a ser conservador en el sentido de que el número de nuevas creencias y métodos agregados y las viejas creencias y métodos descartados en cualquier caso de cambio de opinión razonado será bastante menor en comparación con el número de creencias y métodos que permanecen igual. La condición por omisión no es cambiar.” (Harman y Kulkarni, 2007, p. 10)

La intensidad del fenómeno de transporte podría representarse cuantitativamente en este dominio comparando la amplitud del gradiente⁴⁰ atribuible a la “fuerza” que impulsa el cambio, con la magnitud de la oposición que el cambio ha de remontar para que el sistema asuma su nueva condición. Cabe destacar que esta oposición reguladora del “flujo” es similar a una “viscosidad” que caracterizaría al medio en que ocurre el cambio, pudiendo descomponerse en dos partes: una «resistencia» y una «renuencia».

La siguiente comparación entre estructuras lógicas y procesos provee elementos complementarios al conjunto de rasgos que caracterizan el “razonamiento inductivo”:

“Los argumentos deductivos son estructuras abstractas de proposiciones, mientras que el razonamiento inductivo es un proceso de cambio de opinión. Hay argumentos deductivos, pero hablar de razonamiento deductivo es un error categórico, excepto en el sentido de razonar acerca de deducciones. Hay razonamiento inductivo, pero hablar de argumentos inductivos es un error categórico. Hay lógica deductiva, pero hablar de lógica inductiva es un error categórico. (Harman, G. y Kulkarni, S., 2007, pp. 7 – 9).

Todos estos “trozos” o “fragmentos” de «descripción», incluyendo casos que “son” y casos que “no son”, podrían constituir el conjunto de ejemplos individuales provistos por nuestro diseño para que un aprendiz se entrene en la capacidad (o “competencia”) de “clasificar” la noción materia del ejercicio. La cuestión de búsqueda para tal ejercicio de entrenamiento podría ser la siguiente: *¿Cuál es la regla para identificar como*

⁴⁰ El gradiente corresponde a la “diferencia de potencial”, o, equivalentemente, a la “línea de máxima pendiente” en la representación gráfica de un campo de fuerza.

característico del “razonamiento inductivo” cualquier nuevo rasgo que se nos pudiese proponer ?

Tratemos de entender lo que implica la decisión de recurrir a un método inductivo, ya que la confiabilidad de las inferencias inductivas podría resultar problemática:

“Desde el punto de vista tradicional se comparan dos clases de razonamiento, deductivo e inductivo, y dos clases de argumento, deductivo e inductivo. Sin embargo, es muy distinto asumir que el razonamiento es cuestión de inferir cosas nuevas a partir de lo que uno cree en un principio, que descartar cosas en las que uno empieza “creyendo”. Se trata de dos clases diferentes de teoría. Una prueba lógica es una estructura abstracta con proposiciones. El razonamiento, en cambio, es un proceso, una actividad.” (Harman, G. y Kulkarni, S., 2007, pp. 5 - 7).

En el primer caso uno empieza por aceptar ciertas premisas y luego acepta las conclusiones intermedias que siguen de las premisas o se derivan de conclusiones intermedias anteriores, de acuerdo con ciertas reglas de inferencia. Uno termina por aceptar las nuevas conclusiones que se han inferido directa o indirectamente de las premisas originales. En sentido estricto no se trata de una teoría del razonamiento, se trata de una teoría de la consecuencia deductiva. Las “reglas de inferencia” en estos principios deductivos son en realidad “reglas de qué sigue a qué”. Son una estructura abstracta, a diferencia del razonamiento:

“Los argumentos deductivos tienen premisas y conclusiones. El razonamiento no tiene de la misma manera premisas y conclusiones. Si pretendemos afirmar que las ‘premisas’ en el caso del razonamiento son las ‘creencias’ a partir de las cuales razonamos, hay que notar que algunas de tales ‘creencias’ podrían tener que descartarse en el curso del razonamiento.” (Harman, G. y Kulkarni, S., 2007, p. 7)

Por ejemplo, cuando una persona encuentra mojado el césped frente a su casa por la mañana, bien podría asumir que llovió durante la noche. Pero la consideración del dato, que tal vez pasó por alto en el primer instante, de que el sistema de riego del vecino pudo haber estado operando horas antes, podría llevarlo a descartar esa creencia. En este caso nos encontramos ante un proceso que opera en “retrospectiva” para transformar la certeza inicialmente asignada a un concepto.

En el segundo caso, la transformación de aquello en lo que se cree requiere de un proceso de inferencia. Ethem Alpaydin (2010) ilustra de la siguiente forma un proceso cuya naturaleza espontánea debería mantenernos prevenidos en este sentido:

“Creemos que hay un proceso que explica los datos que observamos. Aún cuando no conocemos los detalles del proceso que subyace a la generación de los datos –por ejemplo, el comportamiento del consumidor– sabemos que no es completamente aleatorio. Las personas no acuden a los supermercados y compran cosas al azar. Cuando compran cerveza, compran botana; compran helado durante el verano y especias para el ponche en invierno. En los datos hay ciertos patrones.

Podemos ser incapaces de identificar completamente el proceso, pero confiamos en poder construir una buena aproximación que sirva. Tal aproximación podría no explicar todo, pero aún así dar cuenta de parte de los datos. Creemos que a pesar de no ser posible identificar el proceso completo, todavía podemos detectar ciertos patrones o regularidades.” (Alpaydin, E., 2010, p. 3)

En el razonamiento cotidiano común lo usual es que sólo se disponga de información parcial sobre la situación y se hagan muchas suposiciones acerca de la forma en que las cosas normalmente ocurren (Bochman, A., 2011, p.2). Las suposiciones del sentido común frecuentemente son de naturaleza global. La manera de pensar sugerida por el

razonamiento no monótono⁴¹ en las condiciones parcialmente conocidas consiste en recurrir a “creencias justificadas” y “suposiciones razonables” que nos permitan guiar nuestras decisiones. Tales “suposiciones razonables” y “creencias justificadas” deberían ser abandonadas cuando se aprenden nuevos hechos sobre las circunstancias, que las contradicen.

Respecto al razonamiento no monótono, dice David Makinson.:

“Ninguna de las conclusiones alcanzadas por Sherlock Holmes sigue deductivamente, en el sentido estricto del término, a la evidencia. Involucran presunción y conjetura, con la posibilidad omnipresente de estar equivocado... Sin embargo, a pesar de su falibilidad, es razonamiento. No solo apela a las observaciones explícitamente mencionadas, también lo hace, implícitamente, a un reservorio de conocimiento previo, a una fuente de reglas prácticas y a toda una variedad de guías heurísticas. Y lo que es aún más importante, las conclusiones pueden ser descartadas conforme se recibe nueva información, pudiendo ser reemplazadas por otras. Lo que no necesariamente significa que el razonamiento anterior estaba equivocado.” (Makinson, D., 2005, p. 176)

Otra “sub-función” de la actividad cognitiva que se involucra en el entrenamiento es la «abducción», que es una clase particular de consecuencia deductiva.

Abducción. Charles Sanders Peirce introdujo el término para denotar algo que se «adivina», diciendo que «abducir» una explicación hipotética “a” de una circunstancia observada sorprendente “b” es suponer sin evidencia probatoria que “a” puede ser cierta porque entonces “b” sería lo esperado. Así que abducir “a” de “b” implica determinar que “a” es suficiente (o casi suficiente) pero no necesario para “b”. Peirce afirma que un buen razonamiento abductivo de P a Q no sólo implica una determinación de que Q es suficiente para P, sino que además Q se encuentra entre las

⁴¹ El razonamiento no monótono puede ser descrito como una teoría de hacer y revisar suposiciones de una manera razonada o guiada por principios (Doyle, John, 1994). Cf. Reiter & Kleer para definición de términos.

«explicaciones más económicas» para P. La simplificación y la economía demandan el «salto» de la «abducción» (Wikipedia)

Organizar el objeto de la sub-función, ya sea el razonamiento inductivo o la abducción, podría ser parte de nuestra estrategia.

Cuando el docente aplica un método de aprendizaje supervisado, donde se suministran algunos ejemplos de entrenamiento para que el aprendiz proceda a construir un modelo hipotético, hay que tomar en cuenta el sesgo hacia el objetivo «meta» que puede resultar tras la clasificación si alguna de las clases («indicio») está sub-representada en los ejemplos. En esas condiciones se dice que existe un desbalance en el conjunto de ejemplos de entrenamiento. Este desbalance se relaciona con el hecho de que si bien el objetivo de aprendizaje se manifiesta de manera explícita al iniciar el ejercicio, durante la tarea de clasificación el objetivo «meta» permanece oculto para el educando. En la vida real el impacto de los casos raros, o menos frecuentes, puede ser muy significativo. Por ejemplo, concluir que no existen células cancerosas donde sí las hay tiene serios efectos sobre la salud, mientras que diagnosticar que tales células existen donde no las hay, sólo eleva los costos asociados con exámenes confirmatorios adicionales (Ertekin, S. et al, 2007). Es importante tener muy claro el criterio de optimización incorporado en el diseño del algoritmo utilizado por la máquina de aprendizaje. La mayoría de ellos favorecen la exactitud general, sacrificando los ejemplos correspondientes a las clases minoritarias.

En la teoría estadística del aprendizaje la «inducción enumerativa» se denomina «minimización del riesgo empírico». Según Harman y Kulkarni (2006, p. 39) es más exacto llamarla «minimización del error empírico» porque el único criterio para elegir una hipótesis de la clase asociada a la muestra de datos C es que la regla de decisión conduzca al mínimo error empírico. Como se verá más adelante la teoría estadística del aprendizaje implica la existencia de una distribución de probabilidad que relaciona la función que el aprendiz puede suponer a partir de los datos “dentro de la muestra” y la función que efectivamente corresponde al “universo” al que la muestra pertenece, es

decir, a la función “fuera de la muestra”. Esta distribución de probabilidad queda fuera del alcance del aprendiz a lo largo de todo el proceso, lo que hace que su tarea se parezca mucho a un juego de azar.

§ Un campo focal para nuestro diseño.

Nuestra postura decididamente favorable a la «descripción» frente a la «explicación» se apoya en los dos principios básicos del constructivismo radical: (1) el conocimiento es elaborado activamente por el sujeto; (2) la función del conocimiento es adaptativa y sirve a la organización del mundo experiencial del sujeto, y no al descubrimiento de una realidad ontológica objetiva. (Von Glasersfeld, E. 1988, pp. 83–90).

En efecto, si consideramos como factor relevante para el juicio la demanda de actividad que impone sobre el sujeto cada una de las dos líneas de argumentación es evidente que la «descripción» reclama una disposición activa, en tanto que la «explicación» podría sugerir además una disposición pasiva. Nótese que aunque no es posible excluir de la «explicación» la disposición activa, en la «descripción» ésta resulta indispensable dentro del contexto de aprendizaje donde estamos situando la evaluación.

La siguiente «descripción» de Carnap nos ofrece una comparación de rasgos característicos:

“En la «explicación» un concepto dado, más o menos inexacto, el *explicandum*, es remplazado por un segundo concepto, exacto, el *explicatum*, que se propone para tomar el lugar del primero⁴². El *explicandum* puede pertenecer al lenguaje cotidiano o a una etapa preliminar en el desarrollo del lenguaje científico. El *explicatum* debe suministrarse con reglas explícitas para su uso, por ejemplo mediante una definición que lo incorpora en un sistema científico de conceptos bien construido, ya sea lógico–matemático o empírico.” (Carnap, 1962, p. 3)

⁴² Rudolph Carnap destaca un contraste en el significado asociado a estas nociones por distintos autores. Así, dice, “Kant llama a un juicio *explicativo* si el predicado se obtiene por análisis del sujeto y Huserl, hablando acerca de la síntesis de identificación entre un sentido confuso, no articulado y un sentido subsecuentemente articulado, intencionadamente distinto, llama al segundo ‘*Explicat*’ del primero”.

Para los fines del diseño que nos ocupa el punto de partida es una «descripción», y la tarea del aprendiz es construir el *explicatum*, en tanto que la del docente es suministrar una colección adecuada de datos y contribuir a la elaboración de una estructura que facilite el procesamiento de un *explicandum* que sólo está implícito en éstos.

A diferencia de un problema bien estructurado, donde tanto los datos como el resultado se formulan en términos exactos, en un problema de «explicación» o análisis, el *explicandum* no se da en términos exactos. Puesto que el dato es inexacto, el problema no puede estar enunciado en términos exactos. De ahí que, como estrategia necesaria, nuestro diseño ha de recurrir al planteamiento de problemas poco estructurados.

Por otra parte, aseverar que la solución para un problema de «explicación» es correcta o incorrecta carece de sentido, porque no hay tal solución. Esta cuestión debería responderse diciendo que la solución es satisfactoria, o no. O bien, que se trata de una solución más satisfactoria que otra.

Dado que en su calidad de diseñador el docente tiene que observar los dos aspectos (*explicandum* y *explicatum*) resulta indispensable que pueda verlos como una misma imagen cuyos rasgos son complementarios.

En la argumentación de Carnap acerca de la claridad con la que se requiere expresar el *explicandum* destaca una clave para el procedimiento que nos interesa identificar. Dice:

“Existe la tentación de pensar que, ya que el *explicandum* de todas maneras no puede darse con términos exactos, no es muy importante cómo se formula el problema. Pero esto sería equivocado. Por el contrario... debemos hacer... todo lo posible por aclarar cuando menos prácticamente lo que significa el *explicandum*. Lo que X quiere decir con cierto término en determinada clase de contextos es al menos prácticamente claro para Y si Y es capaz de predecir correctamente la interpretación de X para la mayoría de los casos ordinarios de

uso simple del término en esos contextos. Me parece que al plantear problemas de análisis o «explicación» los filósofos muy frecuentemente violan este requisito. Hacen preguntas como: ¿qué es la causalidad?, ¿qué es la vida?, ¿qué es la mente?, ¿qué es la justicia?, etc. Luego empiezan a buscar inmediatamente una respuesta sin examinar primero la suposición de que los términos de la cuestión son, cuando menos prácticamente, lo bastante claros para servir como base para una investigación, para un análisis o explicación.” (Carnap, R. , 1962, p. 4)

La clarificación⁴³ del «*explicandum*» constituye el punto focal para nuestro diseño de los ejercicios de entrenamiento. Los problemas “parciales”, que junto con suficientes nexos entre ellos plantearemos en el aula, deben ser lo suficientemente claros como para que el aprendiz pueda emprender la construcción de su «*explicatum*» en las mejores condiciones posibles.

Como se describirá en la Sección 3.6, la “predicción probablemente correcta” implica una elección a la que se asocia el valor de una posibilidad. Para nuestro caso y desde la perspectiva del diseñador, el margen de error admisible tiene que quedar acotado dentro de la «zona de desarrollo próximo» del aprendiz. Este último requisito exige que la descripción del «*explicandum*» por el diseñador resulte suficientemente clara para dar pie a la indagación del aprendiz en pos del «*explicatum*». Para facilitar el entendimiento mutuo entre el diseñador y el aprendiz, hay que aportar alguna indicación del significado como parte de la formulación del problema, ya sea en la «descripción» de los ejemplos, o alguna «explicación» informal en términos generales.

La diferencia entre «describir» y «explicar» es como lo que ocurre con la finalidad de la ciencia, que no consiste en «probar» o «demostrar», sino en «evidenciar» relaciones:

⁴³ Para los positivistas lógicos la función de la filosofía radica exclusivamente en la clarificación de los pensamientos. La doctrina del Empiricismo Lógico, o Positivismo Lógico, se desarrolló a principios del Siglo XX en los Círculos de Viena y Berlín. Muchos de sus representantes emigraron a Inglaterra y Estados Unidos al entronizarse el Nacional Socialismo en Austria y Alemania. La filosofía del lenguaje ordinario, en la que esta doctrina derivó, a menudo buscaba disolver los problemas filosóficos mostrando que eran resultado de malentendidos del lenguaje ordinario. (en.wikipedia.org/wiki/Analytic_Philosophy)

“Un concepto científico es más fructífero en la medida en que puede ser relacionado con otros conceptos sobre la base de los hechos observados; en otras palabras, mientras más pueda ser útil para formulación de leyes”. (Carnap, p. 6)

El diseñador de los ejemplos confronta el problema de seleccionar un «*explicandum*» parcial con buenas posibilidades de inducir en el aprendiz el descubrimiento del «*explicatum*» general esperado.

El aprendiz confronta el problema de cómo seleccionar la hipótesis con las mejores posibilidades de servir como *explicatum* para los datos que el ejercicio le suministra a través de los ejemplos.

Nos referiremos primero a la segunda vertiente y en la Sección 3.6 consideraremos la toma de decisiones.

§ *Explicatum* adecuado para un *explicandum*.

Atendiendo al «resultado», ahora desde el punto de vista del «conocimiento», los requisitos que según Carnap debe satisfacer un concepto para ser *explicatum* adecuado para un *explicandum* dado son: (1) similaridad al *explicandum* en el uso que se ha dado a éste, aunque son admisibles diferencias considerables; (2) exactitud en la caracterización, para introducirlo en un sistema de conceptos bien conectados; (3) ser fructífero en la formulación de enunciados universales; (4) simplicidad. Estas serían las metas de nuestra competencia como diseñadores de ejercicios para el entrenamiento.

3.5 Transformación de los datos y entropía

§ Umbral “duro” y el método del “kernel”.

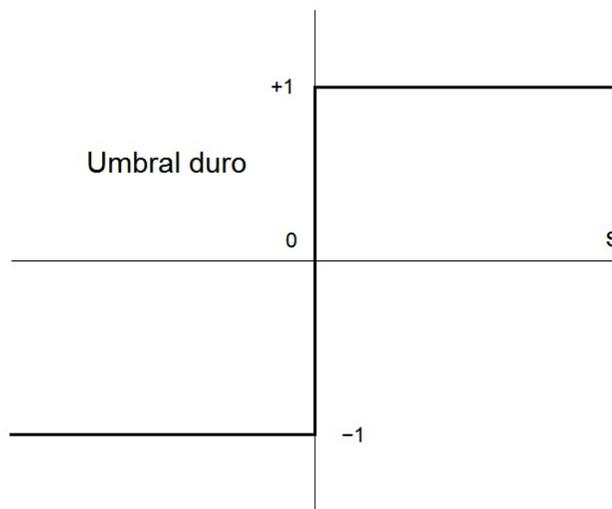
La valoración de hipótesis involucra ponderar creencias. El criterio más simple para tal fin consiste en asignar uno de dos valores al resultado posible de cada alternativa, de modo que las hipótesis puedan calificarse como «verdaderas» o «falsas».

A pesar de que cualquier creencia es intangible, la situación experimental en el «aprendizaje» implica que la evidencia es observable, porque el dato “le consta” al evaluador. Y lo mismo puede decirse de “la materia” de cualquier comparación.

En los preparativos para la evaluación, a cada evento podría asociársele un valor, representando la probabilidad de seleccionarlo entre todo el conjunto de opciones posibles.

De cualquier modo, bajo el mismo criterio, el resultado de comparar una hipótesis con la evidencia requerida para justificarla seguiría mereciendo como calificación uno de dos valores, p. ej., «+ 1» ó «- 1».

En ambos casos puede decirse que el proceso de «clasificación» tiene un “umbral duro”, que puede representarse gráficamente como lo muestra la Figura 3.7 siguiente.



19 *Figura 3.7 Umbral duro*

En esta figura la variable “s”, la “señal”, podría ser la estatura de un grupo de personas por arriba y por debajo de un valor específico “d” (el umbral).

La regla podría enunciarse así:

“Si la señal es menor que d ” le corresponde el signo “ $- 1$ ”

“Si la señal es mayor o igual que d ” le corresponde el signo “ $+ 1$ ”.

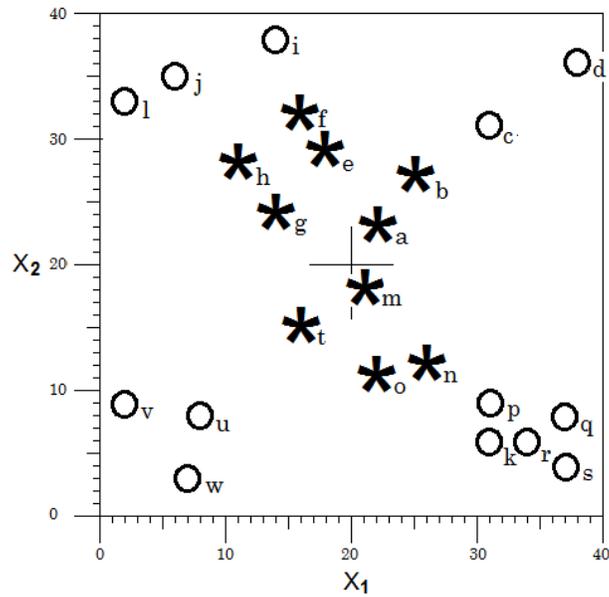
Cuando en lugar de eventos simples se trata de clasificar objetos cuya descripción contiene varios rasgos característicos relevantes, el proceso de discriminación es más complejo.

Afortunadamente en tales condiciones es posible simplificar las operaciones, representando los objetos y las relaciones entre ellos mediante artificios matemáticos sencillos.

En la Sección 3.2 vimos cómo representar la descripción de un objeto mediante un vector, haciendo que la lista de componentes del vector corresponda a la enumeración ordenada de los rasgos más relevantes del objeto.

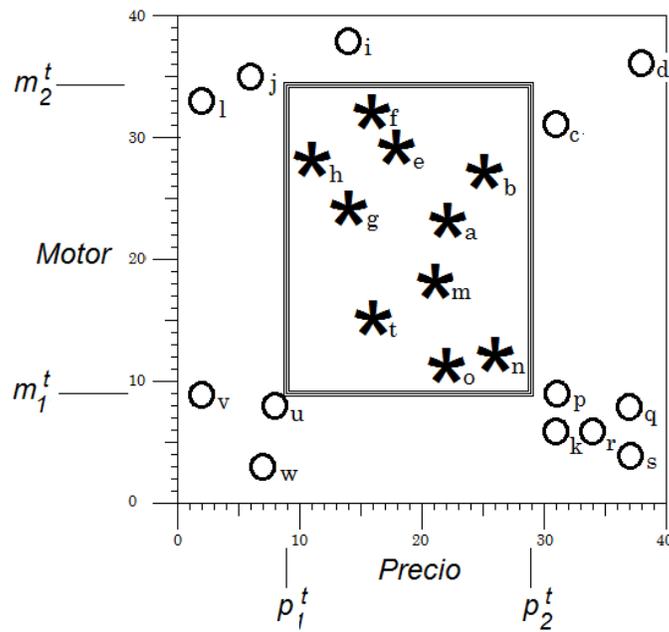
Comparar dos descripciones equivale, entonces, a comparar los vectores respectivos y si se hace coincidir en un mismo punto el origen de estos vectores, la comparación puede enfocarse sobre sus puntos extremos y las relaciones observables entre ellos.

La Figura 3.8 muestra un conjunto de esta clase de puntos extremos en un espacio bidimensional, es decir, representa descripciones de objetos que se caracterizan con base en dos rasgos relevantes, X_1 y X_2 .



20 *Figura 3.8* Descripciones de objetos con base en dos clases de rasgos relevantes.

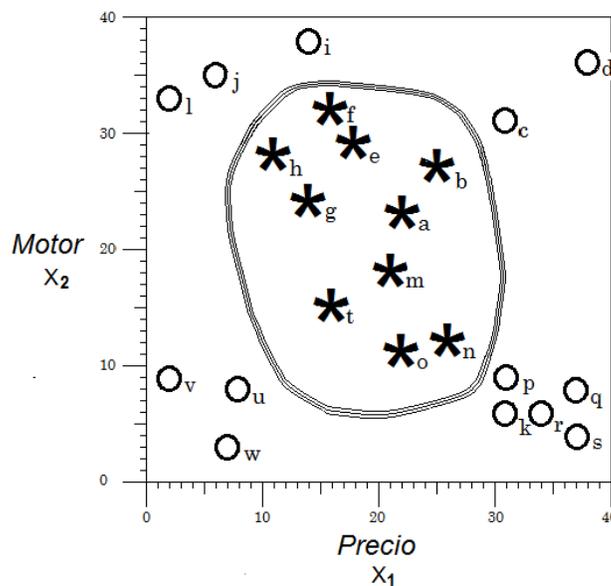
Podría tratarse de un conjunto de automóviles, clasificados según pertenezcan o no a la categoría de los “autos familiares” (señalados con un asterisco), situados en el «mapa» en función de su precio en el mercado y la potencia de su motor (escalas arbitrarias).



21 *Figura 3.9* Acotamiento rectangular entre las dos clases de objetos.

El criterio para clasificar los autos, que podría ser el fruto del consenso de expertos conocedores, fija un rango para el precio y un rango para la potencia del motor (Alpaydin, E., 2010, pp. 22 – 27).

El área rectangular indicada en la Figura 3.9 está acotada de acuerdo con este criterio, que representaría a la categoría de los “autos familiares”. El enunciado de la regla podría ser: “El precio es mayor o igual que p_1 y menor o igual que p_2 ”; “la potencia del motor es mayor o igual que m_1 y menor o igual que m_2 ”.

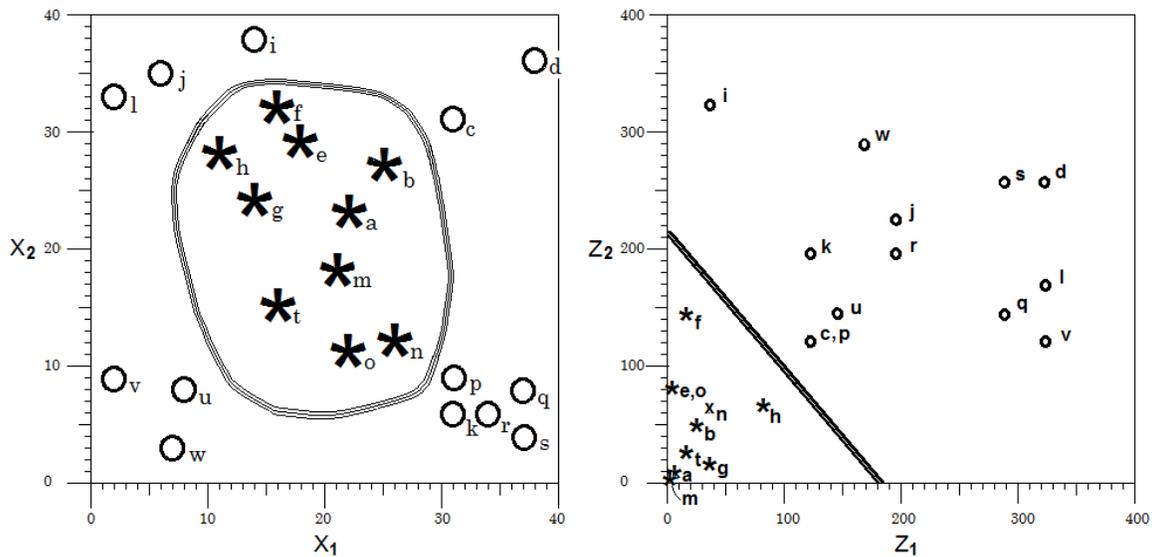


22 *Figura 3.10 Contorno cerrado arbitrario señala la frontera entre las dos clases.*

En la Figura 3.10 se representa la frontera entre los elementos de las mismas dos categorías, sólo que delimitadas con un contorno arbitrario cerrado. Una gráfica como esta recibe la denominación de «convexa», término que denota la característica de que cualquier línea recta que toca esa curva en un punto no puede tocarla en ningún otro sin cruzar por el interior. La descripción formal de un curva así no es simple. Típicamente se trata de un polinomio de segundo grado, o superior.

La Figura 3.11 permite comparar dos representaciones de un mismo conjunto de datos, donde el gráfico del lado derecho muestra los datos del gráfico en el lado izquierdo,

pero transformados –desplazando primero el origen hacia el punto (20,20) y después, elevando al cuadrado la magnitud de las dos coordenadas correspondientes a su posición en el dominio bidimensional X_1X_2 .



23 Figura 3.11 Clasificación mediante un “hiperplano” en un “espacio de configuración”.

La línea recta que se muestra en el gráfico de la derecha representa la traza de uno de los muchos «hiperplanos» separadores que se podrían dibujar en este “espacio de configuración”.

Los puntos de la clase que se identifica con círculos están a un lado de este plano, donde el parámetro tendría un signo (por ejemplo, +1). Y en el otro, donde el signo sería el opuesto (-1), están los de la clase identificada con asteriscos.

La tabla de la Figura 3.12 muestra paso a paso las operaciones realizadas sobre los datos de este ejemplo. En ambas figuras se identifica con una letra minúscula el mismo elemento del conjunto. A diferencia de lo que ocurre en el gráfico del lado izquierdo, en la representación del lado derecho los datos correspondientes a las dos categorías pueden separarse con una línea recta.

Dato	Coordenadas		Traslación		Producto interno		Etiqueta
	X1	X2	X1 - 20	X2 - 20	Z1	Z2	
a	22	23	2	3	4	9	*
b	25	27	5	7	25	49	*
c	31	31	11	11	121	121	o
d	38	36	18	16	324	256	o
e	18	29	-2	9	4	81	*
f	16	32	-4	12	16	144	*
g	14	24	-6	4	36	16	*
h	11	28	-9	8	81	64	*
i	14	38	-6	18	36	324	o
j	6	35	-14	15	196	225	o
k	31	6	11	-14	121	196	o
l	2	33	-18	13	324	169	o
m	21	18	1	-2	1	4	*
n	26	12	6	-8	36	64	*
o	22	11	2	-9	4	81	*
p	31	9	11	-11	121	121	o
q	37	8	17	-12	289	144	o
r	34	6	14	-14	196	196	o
s	37	4	17	-16	289	256	o
t	16	15	-4	-5	16	25	*
u	8	8	-12	-12	144	144	o
v	2	9	-18	-11	324	121	o
w	7	3	-13	-17	169	289	o

24 Figura 3.12 Datos y operaciones de la transformación que se ilustra en la Fig. 3.11.

Se dice que la “transformación no lineal” ha generado un “espacio de configuración”, definido mediante el producto de dos cantidades que en este caso corresponde al cuadrado de un número real.

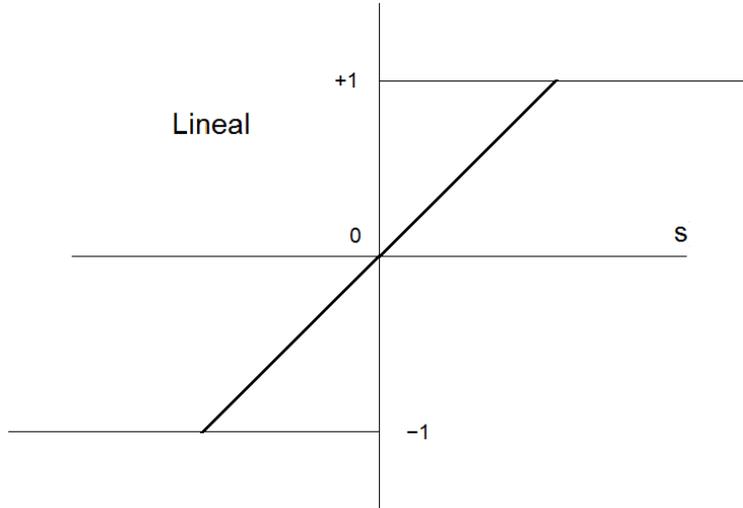
En general, la transformación podría ser el producto interno de dos vectores que contengan cualquier cantidad de componentes. Hay que recordar que en álgebra vectorial el “producto interno” de dos vectores se define de tal manera que el resultado de la operación representa la proyección de uno de ellos sobre la dirección del otro. Esto hace evidente la presencia simultánea de rasgos característicos en las descripciones que se comparan. De ahí que el “producto interno” puede servir como indicador cuantitativo de cierto grado de similaridad entre esos vectores. Si existe una función *kernel*, existe un “producto interno” en ese “espacio de configuración”.

En la literatura existe toda una variedad de “*kernels*” aplicados sobre los más diversos casos (Cortés, C. & Vapnik, V., 1995; Scholkopf, B. et al, 1998; Campbell, C., 2002). Si

el “truco del kernel” resulta tan atractivo para los especialistas en reconocimiento de patrones, recolección y análisis de datos es porque la solución del problema no requiere conocer lo que ocurre en el “espacio de configuración”. La solución puede ser obtenida “allá” en el “espacio de configuración”, donde recurriendo a la programación cuadrática una computadora puede determinar un hiperplano óptimo si la cantidad de datos no rebasa los diez o veinte mil puntos. La solución conseguida es transformada de regreso al espacio original en que los datos del problema se representaron y ¡ya está!, se tiene una frontera que podría ser de una forma muy caprichosa, pero que resuelve el problema de clasificación. La existencia de un producto interno en el “espacio de configuración” es la característica fundamental de la función *kernel* en que se basan varias técnicas avanzadas, como las Máquinas con Vectores Soporte (SVM’s por su acrónimo en inglés).

En nuestro caso no hay motivo para preocuparse, ni por la cantidad de datos ni por los algoritmos de programación cuadrática requeridos para la solución numérica, ya que ni las estructuras en las que los ejercicios de entrenamiento de nuestro diseño se van a apoyar van a incluir cantidades tan numerosas de datos, ni tendremos que recurrir a una computadora para resolver problema numérico alguno. Lo que haremos es visualizar un artificio útil para la «interpretación» de esas estructuras de datos en el seno de nuestros “contenidos”, para lo cual abordaremos el análisis del problema desde las lentes del “conocimiento” y el “aprendiz” con el modelo HPL.

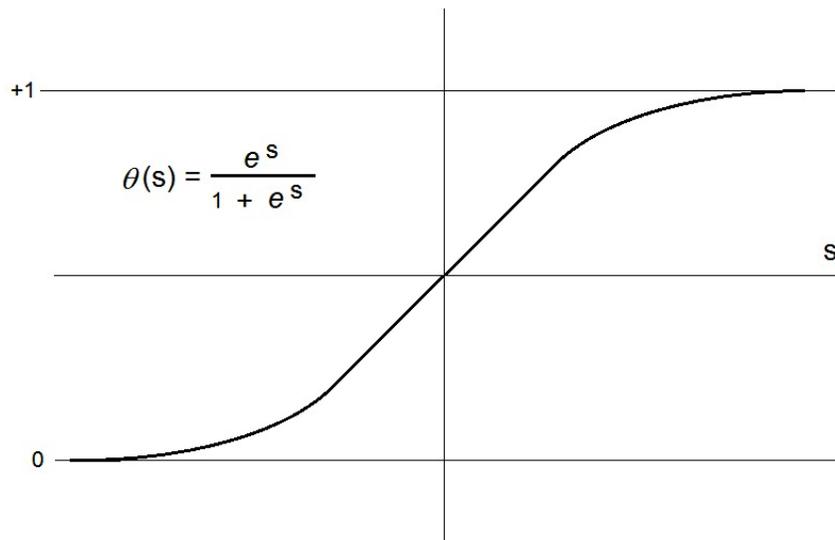
La clasificación de los datos podría ser un proceso mucho más complejo que el caso binario recién considerado. Si por ejemplo, la evidencia tuviese que ser inferida y existiese cierto grado de incertidumbre en el resultado, tal como ocurre con el aprendizaje a partir de ejemplos de entrenamiento, podría ser preferible considerar las probabilidades asociadas al resultado como grados de creencia, de modo que la escala sería una variable continua que crece con determinada pendiente, variando, p. ej., de «- 1» a «+ 1», o de «cero» a «uno», como la función lineal o la función logística ilustradas a continuación. En tal caso, en lugar de «clasificación» se hablaría de «regresión», por tratarse de funciones continuas.



25 *Figura 3.13 Umbral lineal*

Considerando el caso lineal, todos los hiperplanos en el espacio d -dimensional de los números reales son parametrizados mediante un vector w y una constante b que se relacionan entre sí mediante la ecuación de una línea recta:

$$w^T \cdot x + b = 0$$



26 *Figura 3.14 Función logística*

En el espacio d -dimensional un vector de datos tendrá $(d+1)$ dimensiones, al agregar:

$$x_0 = 1$$

a la lista de los rasgos característicos, de manera que en general el vector de entrada sería:

$$x = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_d)$$

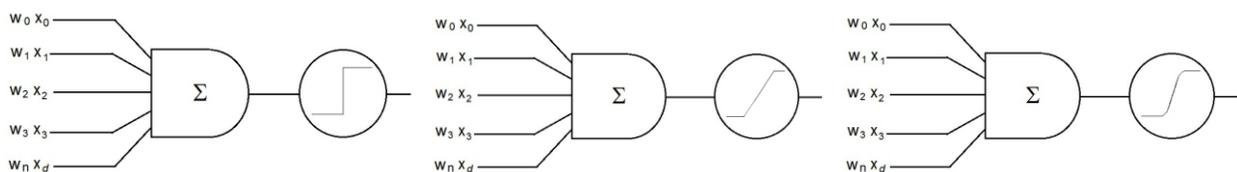
De esta manera se incluye en la ecuación la ordenada al origen, la constante b .

Podemos ver que el cálculo de la “señal” se simplifica, porque sólo se requiere operar con la fórmula del “producto interno” de dos vectores, $w^T x$, para determinar el signo, por ejemplo, conforme al criterio de la Figura 3.13.

La lista x de datos correspondientes a cada ejemplo se suministra al aprendiz para su entrenamiento. La lista w^T de pesos es construida por el aprendiz, quien asigna un factor de ponderación a cada dato, intentando “afinar la puntería” hacia el blanco que el ejemplo le ofrece para que se ejercite. La «meta» es aproximar la función lineal que resulta al combinar los pesos con los datos, con la fórmula para el producto interno (el producto escalar) de los dos vectores, con objeto de determinar el hiperplano separador óptimo en el espacio d -dimensional.

A partir de la “señal” es posible considerar alguna de las tres opciones siguientes:

- (a) Proceder a una “clasificación lineal”, donde la hipótesis es una decisión $\{+1, -1\}$ de acuerdo con el signo de la “señal” (Fig. 3.7).
- (b) Tomar la “señal” centrada en su media estadística y valorarla mediante un umbral de “identidad” lineal (Fig. 3.13).
- (c) Aplicar un umbral no lineal que admita un valor proporcional a la probabilidad de la “señal”, centrada en su media (Fig. 3.14).



27 Fig. 3.15 Modelos lineales con umbral duro, lineal y logístico.

El diseñador suministrará un conjunto de ejemplos de entrenamiento $X = \{x_1, \dots, x_d\}$ a los que se les asocia una etiqueta y_i que los califica como “+1” ó “-1” para indicar si pertenecen o no a determinada categoría:

$$D = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_d, y_d)\}$$

Si el conjunto de datos no es linealmente separable, como ha ocurrido en los casos que se han ilustrado antes, el vector x puede transformarse a un nuevo espacio de configuración, mediante una función f . Cada elemento del nuevo vector z se deriva del vector de entrada x :

$$Z = (z_0, z_1, z_2, \dots, z_d).$$

es decir, cada transformación z puede ser:

$$Z_i = f_i(x)$$

y todas ellas son parte de la función general Z :

$$Z = F(x)$$

Por ejemplo, en el caso de la transformación de segundo orden, podríamos tener:

$$Z = (1, x_1, x_2, x_1x_2, x_1^2, x_2^2).$$

Hay una distribución de probabilidades en la fuente de los ejercicios para el entrenamiento. Así que la respuesta del aprendiz, es decir, la hipótesis propuesta como solución al problema, también será una probabilidad. Aunque el valor de la “señal” puede variar entre $-\infty$ y $+\infty$ en torno a la media, la probabilidad lo hará entre “cero” y “uno”.

Una descripción más amplia excedería los límites de este trabajo.

La Teoría del Aprendizaje Estadístico (SLT por sus iniciales en inglés) es una de varias teorías del aprendizaje que se basan en la estadística, tales como la inferencia de Bayes, la inferencia inductiva, o los análisis de la estadística clásica. Cada una de ellas hace suposiciones distintas. Uno de los resultados más importantes en la SLT nos dice que el número N de ejemplos requeridos para conseguir determinado desempeño en el aprendizaje es proporcional a la “dimensión VC⁴⁴”; esta es menor o igual que $(d + 1)$, el número de dimensiones más uno del “espacio de entrada”. En el caso de la regresión, describe la propiedad de la “generalización” en relación con los grados de libertad.

La máquina de aprendizaje define un plano “frontera”, a partir del cual va a clasificar uno por uno los casos, de tal manera que todos los extremos de los vectores con etiqueta -1 quedarán situados de un lado y los etiquetados $+1$, del otro. Los ejemplos de entrenamiento que quedan más cerca del plano “frontera” se denominan “vectores soporte”. La distancia perpendicular al plano “frontera” que separa a los “vectores soporte” se denomina “margen”. De esta manera el margen estará delimitado por dos planos paralelos al plano “fronterizo” situado en la posición intermedia (ver Figura 3.16 en la página 126).

§ Conjuntos de datos numerosos.

En términos estadísticos, elaborar el modelo para un proceso desconocido al cual sólo es posible tener acceso a través de un conjunto de observaciones fragmentarias, es como adivinar el valor de la media (μ) de una población “universo”, tomando como base datos que únicamente permiten calcular la media (ν) para cada muestra, de un conjunto de ellas que se ha extraído de ese mismo “universo”. Si la muestra fuese lo bastante grande, entonces probablemente el valor de ν se aproximaría al valor de μ .

Si en lugar de la “media” estadística, la variable μ ahora representa la probabilidad de seleccionar una de dos categorías posibles en la población “universo”, p.ej. $\{+1, -1\}$, la variable ν representa la probabilidad de que ocurra una de esas dos posibilidades en la

⁴⁴ La dimensión Vapnik – Chervonenkis

n ésima muestra. Si cada muestra contiene N elementos, entonces la probabilidad P de que la diferencia entre estos valores, $(\mu - \nu)$, resulte menor que cierto valor de tolerancia ε , puede expresarse mediante la desigualdad de Hoeffding:

$$P[(\mu - \nu) > \varepsilon] \leq 2 \exp(-2 \varepsilon^2 N)$$

La desigualdad de Hoeffding es una función matemática que expresa cuantitativamente el problema del aprendizaje que confrontamos. Pertenece a la clase de funciones que se denominan “leyes de los grandes números”.

En la situación típica de aprendizaje, el aprendiz no conoce la distribución de probabilidades de la población “universo”, ni tiene elementos para determinar el valor de la probabilidad μ de dicha población. Este “universo” es conocido por el docente sólo hasta cierto punto, y es de ahí que va a elegir cierto número de muestras, k , para incorporarlas en su diseño del ambiente. Con cada ejercicio de entrenamiento se espera del aprendiz que observe las muestras, determine las “medias” $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_k$, y con esa información infiera cuál podría ser el valor de μ . Es importante tomar en cuenta que un cambio en el valor de μ afecta al valor de ν , mientras que la variación en ν no tiene efecto alguno sobre μ .

Esta clase de algoritmos resuelven el problema de la clasificación con un método que maximiza el margen entre planos soporte paralelos, o bien, bisectando los puntos más próximos con el método de cascarones convexos, en lugar de hiperplanos. Los problemas de programación cuadrática son convexos (Bennett & Campbell, . 2000, p.2).

Las SVM’s, al igual que otros algoritmos de aprendizaje, vienen aplicándose desde hace varios años en numerosas tareas. Por ejemplo, clasifican los e-mail de acuerdo al remitente, filtran mensajes indeseados (spam), identifican textos manuscritos para convertirlos a caracteres tipográficos estándar, realizan búsquedas en archivos de imágenes para identificar una escena o un personaje, exploran documentos de texto en busca de fragmentos idénticos, o sorteos registros de clientes con determinados rasgos

comunes en diversas bases de datos. Todo ello en dominios donde se requiere manejar grandes volúmenes de datos, realizando tareas que por su velocidad quedan fuera del alcance de una operación manual.

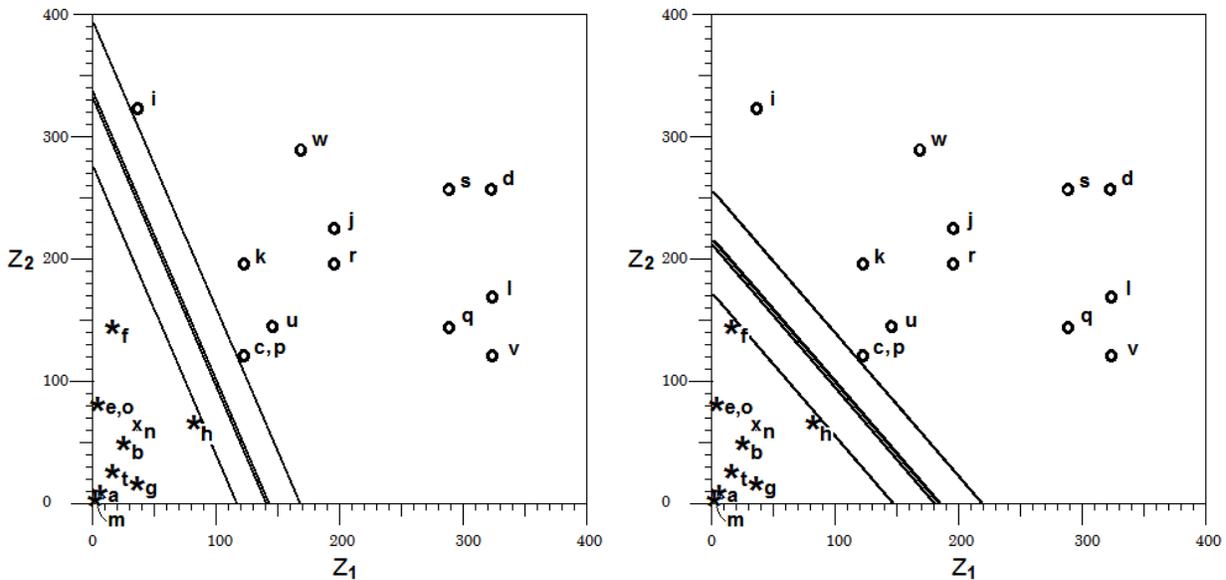
En el contexto de nuestro ambiente de aprendizaje los conjuntos de datos a considerar son muchísimo más pequeños⁴⁵, incluso sumando los correspondientes a todas las lecciones de un curso, o a todos los cursos del plan estudios. Habrá que revisar las características de las SVM's frente a los requisitos de nuestro diseño (Schohn & Cohn, 2000) para cerciorarnos de que sus principios fundamentales resultan aplicables para el caso que nos interesa y, sobre todo, para familiarizarnos con el significado (Bousquet et al, 2004) que es posible asignar a cada aspecto de esta maquinaria de cálculo, u otra, en este contexto. La idea es aprovechar la descripción formal de estas máquinas como un andamiaje que el docente sobrepondrá de manera provisional al proceso, durante las operaciones de «interpretación», a medida que el diseño procede conforme al modelo del “Triángulo de la Evaluación” (Pellegrino, J. et al, 2003).

El modelo de la SVM tendrá que estar muy cerca del detalle específico, como una armazón ajena pero estrechamente relacionada al edificio conceptual en construcción, brindando una perspectiva adecuada al «interpretar» el plan para la sesión, así como al evaluar su ejecución. Este modelo no sólo constituye una valiosa fuente de sugerencias para la indagación en torno a la evaluación formativa; una reflexión profunda acerca del proceso de enseñanza–aprendizaje puede darse en el trasfondo filosófico de una maquinaria que, como ésta, permite realizar procesos básicos en aplicaciones cotidianas, tales como el reconocimiento de patrones, la clasificación por especie, o el conteo de eventos y situaciones de diversas clases. Para nuestros fines, en este aspecto basta con la posibilidad de que tales procesos puedan constatarse⁴⁶ (Sewell, M., 2009).

⁴⁵ Cf. Bottou & Lin (2006) Support Vector Machine Solvers.

⁴⁶ Cf. Sewell contiene una relación histórica del desarrollo de los *kernel*.

Los datos, representados como puntos en una gráfica, pueden separarse mediante distintas líneas rectas en casos como los que ilustra el ejemplo de la Figura 3.16.



28 Figura 3.16 Distintos planos separadores y plano que maximiza el margen.

Entre todas las posibilidades, el algoritmo que define a las SVM's siempre va a seleccionar aquella recta que permita maximizar el margen de separación entre los dos conjuntos (la distancia perpendicular entre el hiperplano separador y un hiperplano que pasa por los puntos más cercanos a este). Este concepto constituye la característica principal de las SVM's y la Figura 3.16(b) muestra un ejemplo.

Si los datos van a extraerse de un medio ruidoso, tal como el que posiblemente existe en el seno del ambiente de enseñanza–aprendizaje, tiene sentido trasladar el problema al “espacio de configuración” para contar con el mayor margen posible al discriminar entre aquellos puntos que resulten más próximos entre sí. El margen es una distancia entre el plano que separa los miembros pertenecientes a la dos clases y el punto que se esté evaluando. Es usual referirse a un “plano” cuando la separación en realidad puede involucrar un “hiperplano” en algún espacio con más de tres dimensiones. Mayor margen conduce a un mejor desempeño en el proceso de clasificación y menos dicotomías admisibles. La dimensión VC es un indicador del límite en este sentido.

Como sugiere Vojislav Kecman, podemos recurrir a un algoritmo de aprendizaje basado en la programación cuadrática que nos lleve al uso de SVM's con unos cuantos vectores soporte, sin acudir a la *minimización del riesgo estructural* (Harman y Kulkarni, 2007) u otros de la teoría estadística del aprendizaje.

Kecman subraya la ventaja característica de estos algoritmos y acota su campo de aplicación en los siguientes términos:

“Al igual que las redes neurales (o similarmente a ellas), las SVM's poseen la bien conocida habilidad de ser aproximadores universales de cualquier función multivariada con cualquier grado de exactitud deseada. Consecuentemente, son de interés particular para modelar sistemas complejos, plantas o procesos altamente no-lineales, desconocidos o parcialmente conocidos”. (Kecman, 2004)

El modelo matemático de la Máquina de Vectores Soporte provee una estructura formal que es posible aplicar sistemáticamente como filosofía de acercamiento al «ensayo» y la «interpretación» en el diseño de ejemplos. Este modelo relaciona suficientes aspectos relevantes del proceso que nos interesa caracterizar como para hacerlo atractivo.

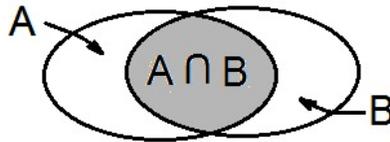
3.6 Proceso dirigido y Teorema de Bayes

§ Teorema de Bayes.

En este contexto de probabilidades consideremos la siguiente descripción del Teorema de Bayes, que representa una regla para evaluar la evidencia que sirve de soporte a las hipótesis del aprendiz. Con tal propósito abordemos primero la noción de “probabilidad condicional”, que es la probabilidad de observar el evento A siempre y cuando el evento B sea observable. Intentemos describir la regla condicional en nuestro lenguaje: “Si el

evento B no ocurre, el evento A no será observable. Si B ocurre, entonces existe alguna probabilidad de que A sea observable”.

En los términos de la teoría de conjuntos el evento A es uno de los elementos pertenecientes al conjunto A, así como B es uno de los pertenecientes al conjunto B. La relación $(A \cap B)$ corresponde a la intersección de los dos conjuntos A y B, que para el caso que nos ocupa en alguna medida se traslapan, es decir, tienen elementos en común.



29 *Figura 3.17 Conjuntos A y B con intersección entre ellos.*

Simbólicamente, $p(A | B)$, es decir, “la probabilidad de A, dado B”, se define cuantitativamente como la probabilidad de que ambos eventos A y B sean concurrentes, dividida entre la probabilidad de que ocurra el evento B; es decir:

$$P(A | B) = P(A \cap B) / P(B)$$

Siguiendo el mismo razonamiento:

$$P(B | A) = P(A \cap B) / P(A)$$

Cada una de estas expresiones representa la “regla general de la multiplicación”:

$$P(A | B) P(B) = P(A \cap B)$$

$$P(B | A) P(A) = P(A \cap B)$$

De combinarlas resulta la expresión de la “regla de Bayes”:

$$p(A | B) = p(B | A) p(A) / p(B)$$

Cabe mencionar que si los eventos A y B fuesen independientes, es decir, si no existiese alguna relación de condicionalidad entre ellos, se tendría el caso para la “regla especial de la multiplicación”:

$$P(A \cap B) = P(A) P(B)$$

Como se ha descrito en la Sección 2.2, cada vez que el evaluador aplica una heurística con el propósito de «interpretar» el objeto que «observa», estará ponderando predicados relativos a los dos modelos involucrados en esa comparación. Tal como ocurre en el aprendizaje a partir de un conjunto de ejemplos de entrenamiento, el resultado final del proceso depende de los resultados de varias etapas intermedias.

Si en lugar de un solo conjunto B se consideran eventos mutuamente excluyentes $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$, uno de los cuales debe ocurrir en un momento dado, como podría ser el caso de los elementos de juicio que el aprendiz hará intervenir en la ponderación de cada hipótesis al resolver un problema, la probabilidad de todas las intersecciones con el conjunto que contiene la solución se calcula con la “regla de la probabilidad total” o “regla de eliminación”:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(B_i) P(A | B_i)$$

Es conveniente examinar con detenimiento los elementos de la definición de la “regla de Bayes”, acudiendo a un ejemplo muy común.

Supongamos que A y B representan los dos únicos resultados que una prueba de laboratorio puede aportar. La prueba, por ejemplo, podría servir para detectar la presencia de tuberculosis T en el sujeto, siendo A el resultado positivo y B el resultado negativo; es decir, $B = \sim A$. La probabilidad condicional de obtener el resultado positivo de la prueba podría expresarse como:

$$P(T|A) = P(A|T) P(T) / P(A)$$

En los términos del resultado negativo, la misma expresión sería:

$$P(T | \sim B) = P(\sim B | T) P(T) / P(\sim B)$$

La probabilidad $P(T)$ en la expresión condicional representa la probabilidad de que la prueba se aplique a un sujeto tuberculoso. Hay que observar que la confianza depositada en la prueba podría ser total, es decir, asumir que si la prueba se aplica a un tuberculoso el resultado es A en todas las ocasiones, ya sea que la prueba se aplique en innumerables ocasiones al mismo sujeto enfermo, o bien, a una población enorme de tuberculosos.

¿Pero qué ocurriría si la prueba sólo arroja el mismo resultado A, en el 95% de las ocasiones en que es aplicada al mismo enfermo de tuberculosis T, o bien, a una población enorme de tuberculosos? Obsérvese que entonces la misma pregunta podría formularse de la siguiente manera: ¿cuál es la probabilidad de que una persona padezca tuberculosis T sí el resultado de la prueba que se le ha aplicado es positivo (A) y la prueba tiene una certeza del 95%?

Podría suponerse que la respuesta es $P(A | T) = 0.95$, cuando en realidad esta expresión sólo nos informa cuál es la exactitud de la prueba. Lo que estamos buscando es $P(T | A)$ y el Teorema de Bayes nos dice que es: $P(A | T) P(T) / P(A)$. Así que para responder a la pregunta se requiere determinar $P(T)$ y $P(A)$.

$P(T)$ representa la probabilidad de que la prueba haya sido aplicada a un tuberculoso y $P(A)$, que la prueba resulte positiva. Considérese p.ej. $P(T) = 0.0002$, tomando el dato de los indicadores demográficos⁴⁷ de CONAPO México 1990 – 2009, veinte por cada cien mil habitantes. La probabilidad de un resultado positivo $P(A)$ incluye la probabilidad de resultar positivo cuando se tiene la enfermedad más la probabilidad de resultar positivo cuando no se tiene: $P(A) = P(A | T) P(T) + P(A | \sim T) P(\sim T) = (0.95)(0.0002) + (0.05)(0.9998) = 0.05018$. Así que $P(T | A)$ resulta: $(0.95)(0.0002)/(0.05018) = 0.0036$.

⁴⁷ Perfil Epidemiológico de la Tuberculosis en México. Sistema Unico de Información para la Vigilancia Epidemiológica, SSA. Indicadores demográficos 1990 – 2030, p. 36

La justificación en retrospectiva puede verse, por ejemplo, en la actuación del paleontólogo que intenta reconstruir un evento hipotético que supone ocurrió millones de años atrás, a partir de indicios observables en algunos restos fósiles. Reflexionando un poco, podemos ver cómo procede este investigador suponiendo posibles comportamientos de un fósil hipotético a partir de lo que observa en animales con algunos rasgos similares que viven en la actualidad.

En el Capítulo 1 nos referimos a la “selección” como una tarea que incorpora dos de los procesos fundamentales del “triángulo de la evaluación” (Pellegrino, J. et al, 2003), «observar» y «evaluar». La meta de nuestra “selección” es lograr un nivel satisfactorio en la efectividad del ambiente de enseñanza–aprendizaje, de manera que la “selección” siempre estará incorporada al ambiente cognitivo en que opera el proceso.

Al continuar examinando la construcción de las «descripciones», partimos ahora del hecho de que la «clasificación» no solo es una tarea esencial para la sobrevivencia⁴⁸, sino un evento singular en el seno de un proceso de «toma de decisiones». La calidad de los ejercicios en nuestro diseño radica en determinar, con base en los casos clasificados que se proveen para el entrenamiento, una regla que permita decidir a qué clase pertenecen los ejemplos no clasificados que podrían presentarse en el futuro. La opción elegida no sólo podrá resultar acertada o equivocada, sino que a cada opción se le podría asociar un peso relativo sin contar para ello con evidencia suficiente por anticipado. El contexto de esta tarea tiene mucho en común con el de un juego de azar.

En la situación típica de diseño, el experto encargado de formular el problema dispone de un conjunto de ejemplos útiles para que el aprendiz se entrene. Los objetos involucrados en tales ejemplos pertenecen o no⁴⁹ a la clase de objeto que el experto tiene en mente, representando ejemplos “positivos” o “negativos” del concepto que es la materia de estudio. Estos objetos pueden agruparse en varios tipos diferentes, a cada uno de los cuales el experto asocia una «descripción» particular usando un lenguaje

⁴⁸ La pregunta elemental podría ser ésta: ¿lo que estoy a punto de ingerir es nutritivo, o tóxico?

⁴⁹ Podrían tener valores intermedios o graduados.

que él mismo define y por lo general corresponde al de la comunidad de práctica. Cada «descripción» contiene cierto número de «atributos» que pueden considerarse arreglados con la estructura de un vector, tal como se ha descrito en la Sección 3.3.

La regla de clasificación podría seleccionarse a partir de diferentes bases. Por ejemplo, la “mejor regla» podría ser aquella que cumple su función con la mayor exactitud; en cambio, una restricción de índole cognitiva podría favorecer a una regla “fácilmente comprensible”. Si el costo relativo del éxito o el fracaso es razonablemente constante podría adoptarse un criterio que minimizara el “número esperado de errores” en la clasificación.

La aproximación Bayesiana en la resolución del problema puede descomponerse en dos procesos: un análisis de creencias para determinar la creencia “posterior”; y un análisis de decisión para determinar “la mejor” de las opciones. La inducción de una regla puede ser un proceso cíclico que incluye la evaluación de la regla supuesta, una modificación en el conjunto de entrenamiento, e incluso, la modificación del problema. Para determinar la creencia “posterior” se requiere modelar la creencia “anterior” y la manera en que se obtiene el conjunto de entrenamiento. La aproximación Bayesiana permite dimensionar dentro de un contexto estadístico la tarea del razonamiento inductivo en la adquisición de conocimiento.

Que sólo veamos cisnes blancos no significa que no existen los cisnes negros. La tendencia a subestimar los cisnes negros es un hecho que no debemos pasar por alto.

§ Modelos “prototipo”, “ejemplar” y “árbol de decisiones”.

Tareas de esta naturaleza pueden caracterizarse tomando como base alguno de los modelos de la teoría de la toma de decisiones, que representan la manera en que el sujeto elige una de las categorías posibles en respuesta a un estímulo. Los modelos denominados “prototipo”, “ejemplar” y “árbol de decisiones” son variantes que distinguen el proceso de selección, respectivamente: (a) porque la representación de la categoría es dominada por un ejemplo prototípico; (b) porque el sujeto estima la

similitud del estímulo con el ejemplar más relevante contenido en cada categoría, y luego adivina, ponderando las magnitudes relativas respecto a la suma total de las similitudes; y (c) porque el sujeto construye un conjunto de cotos de decisión que dividen el espacio perceptual en m regiones de respuesta, una por cada categoría relevante, y en cada intento determina la región en que cae la representación del estímulo. Para los fines de nuestro diseño resulta más conveniente ahondar un poco en los conceptos del análisis de Bayes, porque nos acerca al tratamiento analítico probabilístico de la relación entre las hipótesis y la evidencia confirmadora.

Si el vector $T^T = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ denota al conjunto T que contiene m categorías de respuesta A_j alternativas, y X denota al estímulo para que el sujeto clasifique, la probabilidad de que ocurra tal comportamiento puede representarse como:

$$P_T(A_j|X) \text{ ; donde } A_j \in T$$

Esta expresión denota la probabilidad condicional de que el sujeto seleccione la alternativa A_j entre todas las pertenecientes al conjunto T , en respuesta al estímulo X . Literalmente, “la probabilidad condicional de A_j dado X ; donde A_j es un elemento de T ”.

Aunque en general el conjunto T puede ser cualquier variable real, para el caso de la tarea de «clasificación binaria» el conjunto T sólo contiene dos elementos: $\{1, 0\}$; $\{\text{si, no}\}$; $\{\text{cierto, falso}\}$; o $\{\text{pertenece, no pertenece}\}$.

La versión diacrónica del Teorema de Bayes relaciona en retrospectiva las probabilidades de ocurrencia para los “efectos” A_j dadas las “causas” X . La modificación de las creencias en función de la evidencia observada, es decir, la probabilidad de que la “hipótesis» h_r cambie, ante la evidencia observada e , es:

$$P(h_r|e) = \frac{P(h_r) \cdot P(e|h_r)}{\sum_{i=1}^n P(h_i) \cdot P(e|h_i)}$$

$r = 1, 2, \dots, n$

Así que, las “causas” supuestas en función de los “efectos” considerados serían:

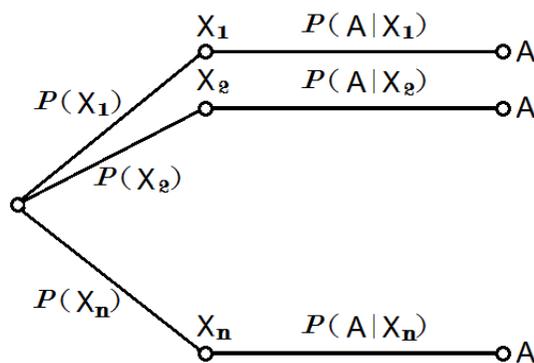
$$P(X_j|A) = \frac{P(X_j) \cdot P(A|X_j)}{\sum_{i=1}^n P(X_i) \cdot P(A|X_i)}$$

Las probabilidades $P(X_j)$ se denominan probabilidades “anteriores” o “a priori” de las “causas” X_j , a las que en la práctica suele ser fácil asignar valores numéricos.

La controversia que históricamente se dio en torno al Teorema de Bayes se relaciona con la noción de que todas las probabilidades “anteriores” eran iguales, es decir, que tenían el mismo valor. La constatación de que se requiere determinarlas en cada caso, preferiblemente con base en la experiencia, ha contribuido a disipar tal controversia.

En nuestro caso se trata de la probabilidad de que el diseñador elija un estímulo entre el conjunto de los que puede presentar en el aula con los ejemplos de entrenamiento, o bien, el aprendiz sostenga una hipótesis ante el conjunto de rasgos característicos que los ejercicios de entrenamiento le aportan.

La gráfica en la Figura 3.18 ilustra el “árbol de decisiones” correspondiente a la “regla de eliminación”. Obsérvese que para interpretar el primer miembro de la ecuación del Teorema de Bayes sobre la gráfica, las ramas en ella tienen que leerse de derecha a izquierda.



30 Figura 3.18 Diagrama de árbol correspondiente a la “regla de eliminación”.

La interpretación diacrónica del Teorema de Bayes en términos de una hipótesis (H) y determinada evidencia (E) se lee como “la probabilidad de que mi hipótesis H cambie, dada la nueva evidencia E”:

$$P(H | E) = P(H) P(E | H) / P(E);$$

Donde:

$P(H | E)$ se denomina el “posterior”.

$P(H)$ es el “prior”, la creencia “anterior”.

$P(E | H)$ es la “posibilidad” (la probabilidad no normalizada; con valores entre 0 y 1).

$P(E)$ es la “constante normalizadora”.

$P(E | H) / P(E)$ se denomina “probabilidad normalizada”.

El nuevo nivel de creencia (“posterior”) se actualiza a partir del nivel “anterior” (prior) de creencia, multiplicando la probabilidad de éste por la “probabilidad normalizada” cada vez que el proceso de evaluación encuentra evidencia novedosa.

La “función objetivo” del ejercicio de entrenamiento puede ser determinística:

$$y = f(x)$$

o bien, no estar determinada exclusivamente por la entrada x , pudiendo sólo verse afectada por ésta, de tal manera que cada dato puntual es generado por una distribución de probabilidades conjunta:

$$P(x, y) = P(x) P(y | x)$$

§ Habilidades de la dimensión descriptiva y la dimensión reflexiva.

Como hemos visto, nuestra búsqueda de una representación orientada hacia la efectividad en el aprendizaje va a considerar procesos relacionados con las habilidades para «identificar», «relacionar» y «clasificar» objetos, eventos o situaciones, y por otra parte, procesos relacionados con la «formulación de inferencias», la «predicción» y la «solución de problemas»⁵⁰. Las habilidades del primer grupo permiten caracterizar la calidad del proceso de enseñanza–aprendizaje en la dimensión descriptiva del modelo holístico (Garduño, L., 1999) que sistemáticamente venimos aplicando.

En cuanto a la dimensión reflexiva, conforme al mismo modelo vamos a observar la “destreza” con la que el aprendiz es capaz de realizar la tarea de «clasificación» (o categorización) en el entrenamiento específico, en relación con algún referente. Un referente de esta clase podría ser la “eficiencia” potencial del proceso, expresada en términos de las operaciones requeridas para lograr la meta, que de algún modo deberán estar definidas en la rúbrica correspondiente. Destreza y eficiencia son términos que denotan algún valor cuantificable. En el primer caso es posible evaluar el aspecto descriptivo de la actividad específica, con base en la capacidad del aprendiz para llevar a cabo la «interpretación» de una regla que habrá tenido que descubrir a través del entrenamiento. En el segundo, es posible evaluar el rendimiento de las operaciones propuestas en la rúbrica por el diseñador, en términos de una estimación estadística.

3.7 Competencia y Zona de Desarrollo Próximo

Evaluación formativa, datos “dentro” y “fuera” de la muestra.

Entre las muchas metáforas del teorema de Conant y Ashby hay una que reza: «*Toda buena solución debe ser un buen modelo del problema que resuelve*» (Scholten, D., 2010). Es posible obtener una directriz para el criterio práctico referente a la “respuesta

⁵⁰ La Dra. Margarita A. De Sánchez describe 10 procesos básicos (1991).

más adecuada” si se vincula esta metáfora con el enunciado de John Dewey citado al introducir la noción del problema poco estructurado⁵¹.

Nuestro problema consiste en facilitar de manera efectiva el acceso al «conocimiento».

Para acceder al «conocimiento» se requiere de un «modelo»⁵², como condición necesaria para capturar los aspectos que representan de manera aproximada el «comportamiento» de un «proceso» cuya existencia es “sugerida” como posibilidad de «conocer». Tal como se concluyó cuando analizamos el concepto, entre el «proceso» y el «comportamiento» que sugiere la posibilidad de su existencia tiene que mediar una «interpretación». Esta, a su vez, depende del criterio evaluatorio con el que el «observador» del «comportamiento» llega a «conocer» el «proceso». Así que, conforme al procedimiento de diseñar «en retrospectiva» (Wiggins & McTighe, 1998), una vez adoptada la «meta» de *“aprender cómo se refleja el «modelo regulador» sobre el modelo de «conocimiento», materia del «ensayo» que es objeto del proceso de «evaluación» específico”*, el diseñador tendrá que enfocarse sobre el problema de *cómo inducir la construcción de ese «modelo regulador» a través de la actividad en el ambiente de enseñanza–aprendizaje.*

La estrategia que vamos a seguir para encaminarnos consistentemente hacia esta «meta» será situarnos siempre en la «zona de desarrollo próximo» del destinatario de nuestro diseño, que es el dominio donde la evaluación y el aprendizaje tendrán que llevarse a cabo (Vygotsky, L., 1978, p. 86).

Dejaremos el análisis de la actividad dirigida a lograr la «meta» para otro momento, cuando haya que tratar el «modelo» con el que vamos a representar la cognición –el «modelo» correspondiente a la representación de la 2ª y la 1ª personas, el “aprendiz” y el “diseñador”–. Analicemos ahora la «evaluación» como pieza fundamental de una

⁵¹ Cf. p. 18. J. Dewey: “El problema y la solución se manifiestan de manera absolutamente simultánea”.

⁵² Cf. p. 25: “«Conocimiento» es el modelo que suministra una estructura conceptual para la captura de aquellos aspectos del proceso que representan aproximadamente su comportamiento”.

estrategia dirigida a inducir el «modelo regulador» –el «modelo» para la 3ª persona, el “aprendiz de diseño”–, empezando por preguntarnos ¿por qué es conveniente abordar la «evaluación» antes de definir la actividad específica que puede llevarnos a alcanzar la «meta»?

La solución del problema que el ejercicio de entrenamiento plantea al aprendiz se da a partir de una «hipótesis» (Dewey, J., 1989, pp. 104 – 105). La «hipótesis correcta» tiene que pertenecer a un conjunto de las que están “fuera de la muestra”, un conjunto que el aprendiz desconoce a lo largo de todo su entrenamiento y que de hecho, en los términos estrictos de un ambiente de enseñanza–aprendizaje, incluso el docente sólo podría conocer “mejor” y no de manera absoluta. Recordemos que la posibilidad de un conocimiento absoluto queda más allá del alcance de nuestra discusión, ya que de otro modo carecería de sentido hablar de una actitud proclive al aprendizaje de por vida, como lo sostiene en principio una de nuestras premisas. Así que simplemente digamos que ese conjunto “fuera de la muestra” es el que sirve de base para el diseño de los ejemplos que el docente provee al aprendiz. Este conjunto contiene un conglomerado de datos, argumentos y creencias, entre los cuales estaría la solución “correcta”. En cambio, la «hipótesis» con la que el aprendiz va a ensayar su solución pertenece a un conglomerado que está “dentro de la muestra” y sólo de manera aproximada puede parecerse a la «hipótesis correcta».

Al evaluar la competencia del aprendiz estaríamos valorando la habilidad con la que éste indaga, en su afán por aproximarse a una función “objetivo” situada en algún dominio que no puede conocer, de tal manera que se ve obligado a estimar la función solución con base en los datos disponibles “dentro de la muestra” y una de las «hipótesis», que ha seleccionado como “la mejor”. La evaluación de su progreso va a tener que apoyarse sobre la «observación» de una muestra estadística. Abordemos la búsqueda de un «modelo» apropiado para desarrollar esta «competencia».

La aplicación reiterada de la atención a los diversos ejemplos de entrenamiento en su estructura es una de las condiciones básicas que nuestro diseño asume para mejorar la

efectividad del proceso de enseñanza–aprendizaje. El elemento humano, con tantas incógnitas y factores latentes como los que intervienen en su desenvolvimiento natural, constituye un problema difícil por más que la noción del “comportamiento intencionado” nos permitiese visualizarlo objetivamente. Habría que agregar a todo esto la dificultad de evaluar con algún criterio cuantitativo el grado de avance y los resultados que nuestro instrumento se propone lograr. La superposición de la metáfora de los «macro» y «microestados» al dominio de la “zona de desarrollo próximo” podría generar un modelo interesante, lo que nos lleva a considerar la noción de “entropía” como una herramienta útil en la solución de este problema.

§ Una «descripción» de la noción de «entropía».

El concepto de «entropía» cuenta con un cuerpo teórico bien desarrollado como noción fundamental de la Teoría de la Comunicación, así que en principio no es difícil visualizar su aplicación en el contexto del aprendizaje. El esfuerzo de familiarizarse con el lenguaje simbólico que lo caracteriza es compensado con la ventaja que se obtiene al transferirlo hacia el dominio de conocimiento que nos interesa. Conviene remitirse a los antecedentes de la noción, que proviene de la Termodinámica, lo que nos permite ejercitar un poco las operaciones de “cambio de escala” que ese modelo incorpora. Será nuestra referencia el texto de Wikipedia.

La palabra entropía fue utilizada por Clausius en 1850 para calificar el grado de desorden de un sistema. Por tanto la segunda ley de la termodinámica está diciendo que los sistemas aislados tienden al desorden, a la entropía. La Teoría Cinética de los Gases asume que las propiedades macroscópicas de un gas, como la presión y la temperatura, están determinadas por el «macroestado» del sistema, que es el resultante de la integración de todas las partículas que muestran esa condición particular.

A nivel macroscópico las partículas individuales son indistinguibles entre sí y según el postulado fundamental de la Mecánica Estadística, un sistema en equilibrio tiene la misma posibilidad de estar en cualquiera de sus «microestados» permitidos. Entre

todos los «macroestados» posibles, aquél que tenga el mayor número de «microestados» es el más probable. En otras palabras, entre todos los niveles de energía a los que un sistema como éste puede acceder, la distribución $\{ n_0, n_1, n_2, n_3... \}$ que probablemente tendrán las partículas que lo constituyen es aquella para la que el «número de microestados accesibles», P , tenga el valor más grande.

Cuando el sistema de partículas recibe determinada «cantidad de calor», q , el «número de microestados accesibles», P , cambia en una cantidad Δ . El símbolo Δ representa la noción de un “incremento” o un “decremento”.

A temperatura T constante, se define la «entropía» S como la relación entre el calor q suministrado o sustraído del sistema y su temperatura T . Así, que la definición de «entropía» propone una relación entre dos cantidades macroscópicas (la energía transferida q y la temperatura T) y una cantidad microscópica (el «número de microestados accesibles» P). Esta relación es la siguiente:

$$\Delta S = q / T = \Delta (k \ln P)$$

donde:

la cantidad $S = k \ln P$ es la «entropía»

$k \approx 1.3806504 \times 10^{-23}$ J/K es la constante de Boltzmann⁵³

\ln denota el logaritmo natural⁵⁴.

La temperatura representa el gradiente (declive) que existe entre dos niveles de energía distintos. El calor, como se dijo, representa la energía transferida hacia o desde el sistema. El sentido de esta transferencia depende de la temperatura, es decir, de la dirección del desnivel. Si la temperatura permanece constante, como lo plantea la definición de la «entropía», la adición o la merma a la cantidad de energía del sistema

⁵³ Esta constante física relaciona la temperatura absoluta (°K) con la energía (Joules).

⁵⁴ Es el número al que hay que elevar la base, para obtenerlo. En el caso de los logaritmos naturales, o logaritmos “Neperianos”, la base es e . La medida logarítmica fue propuesta por R. Hartley (1928) por su utilidad práctica, ya que los parámetros más relevantes en la descripción tienden a variar linealmente con el logaritmo del número de posibilidades.

transforma un «número de microestados accesibles» P en otro, con lo que la distribución de probabilidades $\{ n_0, n_1, n_2, n_3... \}$ cambia y el sistema adquiere la posibilidad de adoptar el estado que ahora presenta el mayor número.

Es el efecto de tal “adquisición” lo que lleva a interpretar el término logarítmico como «información», ya que “aumentar la posibilidad” equivale a “reducir la incertidumbre” con relación a la probabilidad de P .

Así, en el trabajo de Shannon (1948) el valor opuesto al logaritmo natural de P en la definición de la «entropía» equivale al nivel de incertidumbre en el número de microestados accesibles. Con el ingreso de energía al sistema la incertidumbre se reduce. La reducción en la incertidumbre equivale a un incremento en la «información»:

$$H(P) = -\log_b P$$

Aquí H representa el valor de la información, P es la probabilidad asociada con el evento del que se trate y b es una constante (la base de los logaritmos).

No hay que olvidar cuál es el papel que daremos a la teoría de la información en nuestro proceso, como apoyo para interpretar lo que se está evaluando. El problema que esta teoría aborda es el de reproducir en un punto, exacta o aproximadamente, un mensaje seleccionado de otro punto (Shannon, C., 1948), considerando irrelevantes los aspectos semánticos involucrados en la comunicación.

Por ejemplo, la renuencia natural de las personas a actualizar las creencias ante la evidencia de nueva información, puede interpretarse desde la perspectiva de la fórmula de Shannon, observando que la información recibida es la diferencia entre la información suministrada (la nueva evidencia) y el error conceptual asociado con el proceso, de manera que este último sólo se reduce a medida que el receptor adquiere más conocimiento acerca de la fuente, es decir, identifica la fuente de suministro y le concede poco a poco mayor confianza. No olvidemos que la renuencia natural de las

personas también puede interpretarse como parte del «comportamiento intencionado» de quien está en proceso de adquirir más confianza en la fuente de nueva información.

“El núcleo de la teoría de la información es, esencialmente, una rama de las matemáticas, un sistema estrictamente deductivo” (Shannon, C., 1948). Si vamos a aplicar estos conceptos a una máquina de estados discretos tenemos que empezar por tener clara una noción del evento que identificaremos como «mensaje». Este tiene una naturaleza distinta del «símbolo» o la «secuencia de símbolos», que Shannon define para un sistema físico o un modelo matemático que genera el mensaje símbolo por símbolo. La unidad de significado que resulta interesante para el diseño de nuestro instrumento se acerca más al “concepto”, la “noción” o el “modelo”, que pueden requerir de imágenes y tiempo, y no un conjunto de palabras, porque en el proceso intervienen otros factores igualmente importantes (conocimiento previo, creencias, nociones erróneas, atención y otros de índole psicológica). El “silogismo” o el “razonamiento” podrían parecer unidades de análisis adecuadas para un docente que orienta el proceso de enseñanza–aprendizaje hacia la deducción, lo mismo que para uno que está orientado a la inducción.

Además de la competencia del aprendiz en las tareas de esta índole, el ambiente de enseñanza–aprendizaje aporta recursos contenidos en el conjunto de datos etiquetados con los que además de adquirir una idea del problema a resolver, puede explorar distintas rutas de solución posibles.

§ Exocerebro. Extensión de las redes simbólicas y lingüísticas.

Podemos recurrir a la noción de las redes simbólicas exocerebrales, las prótesis simbólicas que propone Roger Bartra (2013), para visualizar el proceso de evaluación en el espacio de la “zona de desarrollo próximo”, que definidas intencionalmente y construidas siguiendo un “diseño en retrospectiva” nos permiten propiciar el desarrollo de un proceso en el espacio de la “zona de desarrollo próximo”.

La hipótesis de Bartra supone:

“[...] que ciertas regiones del cerebro humano adquieren genéticamente una dependencia neurofisiológica del sistema simbólico de sustitución [...] que se transmite por mecanismos sociales y culturales [...] como si el cerebro necesitase la energía de circuitos externos para sintetizar y degradar sustancias simbólicas e imaginarias, en un peculiar proceso anabólico y catabólico.” (2013, p. 26)

Bartra busca vínculos causales entre los circuitos cerebrales internos y las redes culturales y sociales externas. Busca huellas del exocerebro en la plasticidad, en el seno del sistema nervioso central, en casos de disfunción (como p.ej. el autismo, la esquizofrenia o la melancolía), atrofia y amputaciones, o en estudios de personas antisociales que no han sufrido ninguna lesión.

Dice:

“Sin duda el nicho ecológico de un mamífero superior no es un mundo platónico repleto de ideas previas, proposiciones verdaderas y armonías que algunos seres privilegiados –nosotros– podemos descodificar. Pero tampoco es un espacio caótico carente de reglas... Lo cierto es que no podemos todavía leer los ‘jeroglíficos sinápticos’, como los llama Changeux⁵⁵, para entender las operaciones precisas que realiza el cerebro cuando se mueve la mano o cuando se siente dolor en la pierna fantasma que fue amputada años atrás. Pero la neurociencia se está acercando a la explicación, sobre todo en la medida en que ha ido abandonando la idea de que la conciencia de tener y mover una mano, o de mirar una puesta de sol, implica la existencia de un pequeño ego que vive en el cerebro y que contempla las representaciones de los dedos y del dorso de la mano, o la película en colores del hermoso final de una tarde.” (2013, p.72)

Roger Bartra plantea la incompletitud de los circuitos neuronales, que requieren de redes externas para completarse y nos refiere a los resultados obtenidos por Vilanayur Ramachandran (1998, 2004):

⁵⁵ Changeux, Jean Pierre (2005) *El hombre de verdad*. México: Fondo de Cultura Económica.

“Para Ramachandran lo que ocurre es que nuestro cuerpo mismo es un fantasma que el cerebro ha construido meramente para su conveniencia: la imagen estable que tenemos de nuestro cuerpo, en el que está anclado nuestro Ego, es una construcción interna transitoria que puede ser modificada incluso mediante algunos trucos simples. Yo interpreto esta afirmación como un reconocimiento de la presencia de redes exocerebrales que tienen al menos dos componentes: en primer lugar los órganos y partes del cuerpo a las que llegan los nervios; en segundo lugar las extensiones materiales que proporciona el ambiente cultural. Yo considero que, propiamente, el exocerebro abarca sólo al segundo componente, junto con las redes simbólicas y lingüísticas. Pero la experimentación con el primer componente –de carácter somático– nos da claves para entender las mediaciones entre el cerebro y su contorno cultural, especialmente cuando la contraparte somática tiene un carácter fantasmal e inmaterial.” (Bartra, R., 2010, pp. 6 – 7).

Vilayanur Ramachandran describe el hallazgo de las neuronas espejo como uno de los más grandes descubrimientos en la ciencia durante el siglo XX. En su opinión esas neuronas han jugado un rol muy importante en el desarrollo de la cultura y el lenguaje en la evolución humana. Se piensa que las neuronas espejo simulan las acciones de otras personas, haciendo posible el entendimiento.

Con tal fin pongamos en marcha nuestra capacidad para la evaluación, empezando desde un tema situado en el borde mismo de la especulación en algún terreno alusivo, para luego tratar de dirigir nuestra línea de razonamiento hacia la posibilidad de que tal modelo exista, como ocurre con la “zona de desarrollo próximo”. El tema puede ser cualquiera, con tal que la herramienta descriptiva corresponda al aprendizaje a partir de los datos.

§ Análisis preliminar, competencia y ZDP.

Considérese el caso de un saltador que decide utilizar una pértiga para salvar un obstáculo de dimensiones considerables, algo que no había intentado hacer antes. Supongamos que lo primero que esta persona hace es evaluar el alcance de sus recursos, su dimensión, su fuerza y su destreza para aprovechar el apoyo de la pértiga ante la magnitud total de la «brecha» que pretende salvar. Todo ello, en los términos del esfuerzo que estima demandará el superarla. Incluso es posible que el saltador tenga que decidir cuál podría ser la mejor manera de realizar la actividad, es decir, que decida la estrategia específica que usará para el salto. En cualquier caso la descripción detallada del obstáculo queda en segundo término, para el momento en que el saltador evalúe los riesgos asumiendo el caso de que algo saliese mal. Podemos decir que el saltador ha tenido en primer lugar la intención de enfrentar el reto, quedando las consecuencias, o lo que podría provocarlas, para una consideración posterior. Es posible que, de otro modo, privaría un clima de pesimismo, colocando la intención de saltar en una condición de duda.

Asumiendo que los recursos se van a evaluar primero, tal vez convenga ver cómo éstos pueden trasladarse del terreno de la metáfora a nuestro diseño. La respuesta que consideramos preferible puede estar en la noción de «competencia», con el significado que este término recibe en Pedagogía. Poco más adelante, al tratar el modelo para la cognición, discutiremos con más amplitud cómo nuestro diseño busca proveer al aprendiz un acceso hacia los recursos pertinentes para resolver la disonancia. Esos recursos son los que el aprendiz es capaz de movilizar y pueden provenir de un origen tanto interno como externo, dado el planteamiento constructivista y social del aprendizaje en que se basa nuestro diseño. Un significado así es el que encontramos en la noción de «competencia» que se define como *“un saber actuar complejo que se apoya sobre la movilización y la utilización eficaz de una variedad de recursos”* (Tardif, J., 2008, p. 3).

Volviendo a la metáfora del saltador cabe preguntar cómo determina éste la amplitud de la «brecha» que tal vez le resulte alcanzable. El concepto de la «zona de desarrollo próximo», definido por Lev S. Vygotsky para comparar observaciones experimentales

en un contexto de desarrollo infantil sugiere un escenario posible, ya que especifica en términos de magnitud una relación entre dos niveles de comprensión en el proceso de resolver un problema.

Para Vygotsky la «zona de desarrollo próximo» es:

“... la distancia entre el nivel actual de desarrollo determinado por la resolución independiente de problemas y el nivel de desarrollo potencial determinado por la resolución de problemas bajo la guía de un adulto o en colaboración con pares más capaces... El nivel de desarrollo actual caracteriza el desarrollo mental retrospectivamente, mientras que la zona de desarrollo próximo lo caracteriza prospectivamente.” (Vygotsky, L. 1978, p. 86)

La pertinencia de esta noción puede valorarse extrapolando términos hacia la situación que nos atañe. De no existir otro impedimento, la visión prospectiva que guiará el diseño de cualquier ejercicio de entrenamiento necesariamente debería remontarse hasta el nivel de desarrollo en que el aprendiz se encuentra al intentar resolverlo. En tal escenario el aprendiz cuenta con una hipótesis y aborda con optimismo su validación, probándola con los “datos dentro de la muestra”.

El contexto en que se llevará a cabo la evaluación formativa determina las “circunstancias particulares de operación”. Durante la fase de diseño, la construcción del contexto ocurrirá dentro de la «zona de desarrollo próximo» (Vygotsky, L. , 1978, p. 86) del diseñador, ya que es su «competencia» la que estará en proceso de desarrollo. De manera similar, en los ciclos subsecuentes, durante la aplicación del ejercicio, el contexto estará dentro de la «zona de desarrollo próximo» del aprendiz. Ambos deben encontrar la solución para un problema poco estructurado que, dado el interés por resolverlo, estará convenientemente distante como para que la tarea resulte estimulante y el esfuerzo por alcanzar una solución valga la pena.

¿Por qué situar esta evaluación en la “zona de desarrollo próximo”? En primer lugar porque la “zona de desarrollo próximo” está definida de tal manera que podemos considerarla dentro del mundo experiencial del sujeto. En efecto, el marco racional del constructivismo radical (Von Glasersfeld, E. 1988, pp. 83–90) nos permite justificar que el planteamiento de un problema poco estructurado y su conexto puedan situarse en la “zona de desarrollo próximo” (Vygotsky, L., 1978, p. 86), ya que según los dos principios básicos de esta teoría:

(1) El conocimiento no se recibe pasivamente a través de los sentidos o por medio de la comunicación, sino que es construido activamente por el sujeto que «conoce».

(2) La función de la cognición es adaptativa y sirve a la organización del mundo experiencial del sujeto, no al descubrimiento de una realidad ontológica objetiva.

Como diseñador del ejercicio, el docente tiene que preparar un escenario interesante. Su posición es la de quien «conoce» no sólo las características más peculiares del proceso sugerido sino las principales fases en su construcción. La escenografía tiene que resultar sugerente.

Por otra parte, es vital discernir las diferentes metas del aprendizaje que el entrenamiento ha de atender y definir la naturaleza del problema educativo en cuyo contexto se pretende plantear el diseño. Una política de incentivos y reconocimientos podría servir de aliciente para las primeras. Asesoría y andamiaje, útiles tanto al resolver problemas como al desenvolverse en ambientes complejos, responderían a lo segundo, asistiendo a los aprendices en la orientación y secuencia de sus destrezas.

3.8 Destreza, interpretación y ensayo

§ Calidad en la «interpretación» y calidad que se deriva del «ensayo».

De lo que hemos reflexionado resulta que cuando la finalidad del modelo de conocimiento consiste en “aprender a aprender” y en “aprender de por vida”, la «meta» del aprendizaje se transforma, respectivamente, en “conocer cómo se estructura” y en “conocer cómo opera” un algoritmo de solución exitoso para el problema generador de la disonancia cognitiva. Las dos tareas, construir y operar el algoritmo de solución, se incorporan entonces a nuestra especificación de la máquina de estados discretos que siempre se pone en marcha con la «observación».

Si incorporamos la estrategia de Conant y Ashby⁵⁶ al examinar la noción del aprendizaje humano es posible complementar nuestro modelo para el aprendizaje con el rol de un agente que actúa dentro de su propio diseño con suficiente capacidad para regularlo. Después de todo, el aprendizaje es un modelo representativo de cierta relación dinámica que ese agente establece con el conocimiento que le interesa construir. De acuerdo con esto el proceso de aprendizaje puede ser definido como:

Esa función del pensamiento que se asocia con la capacidad de «interpretación» del aprendiz siempre que este opta por ensayar algo, motivado por la posibilidad de dar con una «explicación» acertada ante una condición enigmática que la reclama.

En consecuencia, al evaluar la calidad desde la perspectiva del “regulador activo” que habrá de ser el pivote de cualquier tarea indagatoria en el proceso, resulta que la efectividad del aprendizaje objeto de nuestro diseño depende de la calidad asociada con la «interpretación» y de la calidad de la «explicación» derivada del «ensayo». Es evidente que ambos son aspectos en los que el aprendiz puede desarrollar su competencia a voluntad y por consiguiente son áreas de oportunidad para el diseñador del ambiente.

Cabe señalar que ambos casos, optar por el «ensayo» y optar por el desarrollo de una «competencia», son parte de un proceso de toma de decisiones como los que se han descrito en la Secc. 3.7. También, que la condición enigmática que desencadena el

⁵⁶ “Todo regulador óptimo tiene que ser un modelo del sistema”.

proceso en el primer caso puede considerarse de naturaleza cognitiva, en tanto que la condición causal para el segundo es de naturaleza metacognitiva. Por otra parte y tal como el aprendiz probablemente lo ha podido constatar a través de su propia experiencia, la calidad del «ensayo» aumenta la probabilidad de que su «explicación» sea exitosa, condición que mejorará a medida que la aplicación reiterada tiende al punto en que la integración de un comportamiento automatizado empieza a resultar viable. Pero la calidad de la «explicación» también depende de la calidad en la «interpretación», así que al acudir al «ensayo» reiterado el aprendiz no sólo diseña el experimento, sino que también pone en práctica y desarrolla su «competencia como intérprete».

La destreza en la «interpretación» depende en primer lugar de los recursos que el aprendiz es capaz de aportar al proceso, como parte de lo que ya conoce. Pero el aprendizaje no se reduce a una tarea de comparación. Tras la comparación viene un proceso de toma de decisiones que involucra tareas mucho más complejas, donde los significados se jerarquizan y a menudo tienen que ser transformados para dar paso a la identificación de categorías y a los procesos de inferencia de donde resultan los juicios hipotéticos, que son los que finalmente van a sustentar la explicación «meta» de ese ensayo particular. Este punto de vista, que nos lleva a reconocer la relación fundamental que existe entre la «interpretación» y la «explicación» durante el «ensayo», proviene de la Teoría Estadística del Aprendizaje. Como se verá, los esquemas que esta teoría provee resultan apropiados para nuestro trabajo de diseño.

§ Rúbrica. Error “dentro” y “fuera” de la muestra.

El vínculo más estrecho entre las metas de aprendizaje y los resultados materia de la evaluación se encuentra en la rúbrica.

Dentro del contexto de la «competencia» no se trata de evaluar lo que el aprendiz sabe, en el sentido de lo que la persona recuerda. Se busca una evidencia de lo que es capaz de poner en práctica al desenvolverse en forma apropiada ante la circunstancia que el

reactivo le plantea. Recordemos que la noción de «competencia» se define como “*un saber actuar complejo que se apoya sobre la movilización y la utilización eficaz de una variedad de recursos*” (Tardif, J., 2008, p. 3).

Con la evidencia que puede recolectar “dentro de la muestra” el aprendiz elabora una «hipótesis», que supone es la adecuada para resolver el problema. A continuación, hace lo necesario para verificar si su elección se sostiene, aplicándola a una explicación que construye a partir de otros datos contenidos en la misma muestra.

Podría también adoptar una entre varias opciones, en caso de haber considerado un conjunto de alternativas, tras haberlas ponderado. En la aplicación reiterada de la prueba y la validación de «hipótesis» este procedimiento replica en todo la estructura del ejercicio con solución explícita, sólo que para encontrar la solución adecuada el aprendiz tiene la posibilidad de ejercitarse con datos (los resultados “correctos” e “incorrectos”) que le son suministrados “dentro de la muestra” como parte de cada ejercicio⁵⁷. La “muestra” en este caso es el conjunto de ejercicios de entrenamiento con los que el aprendiz puede desarrollar su entendimiento acerca de la noción, o proceso, materia de la exposición.

Por su parte, los procedimientos administrativos de calificación de la prueba sumaria, el cálculo de la calificación final y todas las actividades a cargo del docente, incluyendo las preliminares a las que el presente trabajo se refiere, quedan siempre “fuera de la muestra”.

Con la evaluación formativa, la «meta» es conocer en qué medida el aprendiz ha comprendido el tema central del ejercicio, es decir, cuánto ha desarrollado su «competencia» en la resolución de los problemas de esa clase, que son toda una variedad y no sólo el problema específico tal como el que podría ser incluido en el examen sumario. La «meta» es asegurarse de que la persona se desarrolla a medida

⁵⁷ También puede tener acceso a ellos por alguna otra vía si, como parte del mismo ejercicio, se incluye la búsqueda de información como requisito del procedimiento.

que tiene oportunidad de ejercitarse en diversas condiciones. Si el error “dentro de la muestra” (E_{in}) se define como el promedio estadístico de los resultados obtenidos después de resolver la serie completa de ejercicios con solución explícita, y el error “fuera de la muestra” (E_{out}), como el promedio estadístico de los resultados obtenidos al resolver los ejercicios en la prueba sumaria, la cuestión sería ¿qué tan cerca debe resultar el error “dentro de la muestra” (E_{in}) con respecto al error “fuera de la muestra” (E_{out}) para considerarlo admisible?

3.9 Inventario de conceptos

§ Esquema para un inventario.

En su oportunidad sería conveniente desarrollar la estructura para un inventario de conceptos aplicable al dominio específico de la Geomática tomando como base el Triángulo de la Evaluación (Pellegrino, J. et al, 2003). Recordemos que en este modelo el vértice de la «observación» representa las tareas orientadas a provocar respuestas reveladoras de la destreza de los estudiantes para movilizar recursos adecuados en el dominio de conocimiento que interesa medir. El segundo vértice, la «interpretación», abarca “todos los métodos y herramientas usadas para razonar a partir de observaciones falibles que se han obtenido en respuesta a las tareas definidas por el vértice de la observación” (Idem, p. 48). Finalmente, el vértice de la «cognición» es “una teoría o conjunto de creencias acerca de cómo los estudiantes representan el conocimiento y desarrollan su competencia en el dominio de la materia” (Ibid, p. 44).

La cohesión y el alineamiento de los tres vértices es suministrada por el modelo cognitivo que se adopta. Es decir, el modelo de cómo aprenden las personas en el dominio de conocimiento donde se da el aprendizaje determina la clase de tareas diseñadas para evaluarlo, así como el criterio con el que los resultados se interpretan.

En tal caso⁵⁸ podría ser útil contar con una prospección de carácter tentativo para preparar un prototipo del instrumento de medición, hacer una revisión de las técnicas

⁵⁸ Cuando estamos a punto de empezar el diseño de los instrumentos para recolectar datos en campo.

que se aplicarían y realizar algunos ciclos preliminares de entrenamiento. Podría tomarse como guía el estudio realizado por Ruth Streveler y asociados (2011), a reserva de desarrollar un ejercicio semejante en el ámbito de la comunidad de práctica. En ese trabajo, los investigadores recurren a la técnica Delphi⁵⁹ para determinar el inventario de conceptos en Térmica y Transporte, explorando las cuestiones generales que los diseñadores de inventarios de conceptos se plantean con relación a los conceptos equivocados o las nociones alternativas que los estudiantes tienen en el dominio de interés.

Alternativamente, podría recurrirse al buen juicio y a la pericia de los investigadores del Centro, revisando un libro de texto de prestigio reconocido (p. ej. Fotheringham, 2000), en cuyo caso se validarían los resultados con los obtenidos mediante un proceso Delphi (o Estrabón⁶⁰, que es el que CentroGeo utiliza). El instrumento de Streveler y asociados enfoca tres dominios: mecánica de fluidos, transferencia de calor y termodinámica.

El sondeo podría explorar cuestiones similares a las que Streveler y asociados toman como base: ¿Qué conceptos equivocados sostienen los alumnos acerca de, p. ej., el posicionamiento espacial? ¿Por qué existen y persisten estos conceptos en los alumnos?

⁵⁹ El método se basa en la opinión de un grupo de expertos elegidos conforme a un criterio claramente establecido (p.ej. posición académica o profesional, publicaciones, reconocimientos, etc.). Un número de 15 a 30 es adecuado (Clayton, 1997). La participación en el panel es confidencial. En una ronda generativa el panel describe conceptos que los estudiantes encuentran difíciles de comprender. Estos se codifican y organizan para constituir la base para las tres rondas subsecuentes. En la primera de ellas el experto califica cada concepto, p.ej. de acuerdo a la proporción de estudiantes que entienden el concepto y la importancia de que los estudiantes lo comprendan. En la segunda, el experto vuelve a calificar con el mismo criterio el concepto, solo que ahora se le asocian algunos estadísticos de la ronda anterior, tales como la mediana y el rango intercuartil o la media y la desviación estándar. En la tercera se repite el mismo procedimiento, solo que se suministran de manera anónima los comentarios justificadores de los panelistas que ubicaron calificaciones fuera del rango. El resultado de esta iteración final constituye el dominio de contenidos que servirán para desarrollar los reactivos.

⁶⁰ El método Estrabón se deriva del Delphi. La diferencia consiste en la forma en que los expertos interactúan.

En la selección previa se recurriría a cuatro fases, de manera semejante a la metodología Delphi. En la fase generativa se exploraría la materia seleccionando los conceptos difíciles en función de su importancia para la comprensión del tema. En la segunda se discutiría una selección en términos relativos tales como importancia, deseabilidad y factibilidad. En la tercera se buscaría apoyar con argumentos la selección y en la cuarta se haría una evaluación final.

La teoría de Michelene Chi (2005) de los conceptos erróneos robustos podría adoptarse como parte integral del modelo cognitivo. Finalmente, siguiendo a Hestenes, Wells y Swackhamer (1992) se procuraría que las preguntas tendientes a evidenciar conceptos erróneos comunes sean simples, que no involucren matemáticas y que incluyan distractores. Habría que desarrollar un conjunto de distractores tan amplio como el rango de los conceptos erróneos que las pruebas piloto permitiesen confirmar. Las pruebas piloto deberán mostrar que todos ellos han sido elegidos, aunque la frecuencia de algunos resulte muy por debajo de la media.

§ Creencias y conceptos erróneos.

La expresión “conocimiento previo” se utiliza en el argot educativo para designar el bagaje de representaciones previamente estructuradas que el aprendiz lleva consigo al aula. Esto incluye tanto los esquemas de índole científica como aquellos que provienen del folklore y el sentido común. El conocimiento total que el aprendiz aporta al ambiente es una condición indispensable para el proceso de aprendizaje. Si se asume que la construcción de todo aprendizaje significativo parte de ahí (Novak, D. 1998, p. 53), un instrumento de esta índole (el inventario de conceptos) es parte fundamental de un diseño orientado al aseguramiento del aprendizaje significativo.

Se ha señalado la necesidad de contar, a partir del nivel de educación media superior, con un diagnóstico confiable que permita identificar y clasificar tantos conceptos científicos erróneos, o «descarriados», como sea posible. Investigaciones realizadas en el área de educación en ciencias, ingeniería y tecnología destacan la disponibilidad de instrumentos apropiados para la evaluación, como tarea prioritaria no sólo con relación

al conocimiento previo de la Física, la Astronomía y la Geografía, sino para el mejoramiento de la enseñanza en general (Halloun, I. & Hestenes, D., 1985; Hestenes, D. et al, 1992; Sadler, P., 1992; Bransford, J. et al, 2000, p.19). Esta faceta del conocimiento previo es muy relevante en el caso que nos ocupa, como indicador de defectos en la formación previa y como obstáculo potencial para el aprendizaje (Chi, M., 2008).

A la vez que atiende cuestiones tales como los conceptos erróneos que plagan el medio de comunicación, o la manera en que se aprende a construir artefactos geomáticos de calidad a partir de un conocimiento previo, tan diverso como el que los alumnos traen al aula, y procura promover un aprendizaje significativo en ese dominio específico, el presente estudio se pregunta ¿cómo es posible lograr un fortalecimiento en la cultura característica de la comunidad científica que da sustento a este proceso de enseñanza–aprendizaje? Esto, porque la vigencia de la cultura “nodriza” aporta la otra componente principal del conocimiento previo, que sin duda va a intervenir en el diseño de cada sesión y actividad educativa, con sus propios defectos y limitaciones, sólo que esta vez por conducto del docente.

Para obtener un esquema de las nociones que el grupo social sostiene se podría aplicar un método asociativo, que consiste en proponer un término inductor y pedir al sujeto que aporte los cinco primeros términos, expresiones o adjetivos que se le ocurran. Se utilizaría una variante del procedimiento en dos tiempos de Grize, Vergés y Silem descrito a continuación. Puede consultarse también a Figueroa et al (1981).

En el primer tiempo se buscaría obtener el conjunto de términos propuestos por los sujetos del grupo, con la variante de que adicionalmente se les pediría que designen los dos o tres más importantes. Combinando la frecuencia con el peso semántico asignado por el sujeto, es posible generar una tabla de contingencia, de donde se extraería un conjunto de términos inductores para el segundo tiempo. El segundo sería aplicado con el mismo procedimiento que el primero.

El efecto negativo que los conceptos erróneos introducen en el aprendizaje es un hecho bien establecido, como lo muestran diversas investigaciones. Por ejemplo, se ha demostrado que las nociones basadas en el sentido común que los estudiantes sostienen acerca de los conceptos de fuerza y movimiento son incompatibles con las nociones Newtonianas (Halloun & Hestenes, 1985). Las creencias acerca de cómo opera el mundo físico llegan a constituir un sistema conceptual bien establecido, que el individuo construye a lo largo de años de experiencia personal y constituyen un obstáculo en etapas subsecuentes de su aprendizaje (Hestenes, D. et al., 1992).

Un instrumento útil para valorar las creencias basadas en el sentido común de los estudiantes de Ciencias e Ingeniería es el Inventario de Concepto de Fuerza (FCI, por sus iniciales en inglés), que permite comparar la noción central de fuerza con las distintas dimensiones del concepto newtoniano. Siguiendo la explicación de Hestenes, Halloun y Swackhamer (1992) sobre el diseño del FCI es posible construir un instrumento semejante que sea aplicable para el dominio de conocimiento que nos interesa evaluar. Instrumentos similares han sido elaborados y aplicados en distintas áreas (Hestenes D. & Wells M., 1992).

Otros resultados de la investigación en Educación, igualmente reveladores, son que la instrucción convencional por sí misma produce poco efecto sobre el cambio de esas creencias, independientemente del instructor y el método de instrucción aplicado. Las consecuencias del conocimiento defectuoso son obvias: el aprendizaje subsecuente tiende a apoyarse más en la memoria y lo que el individuo aprende no adquiere suficiente significado para permitirle superar la condición anterior.

3.10 Consecuencias programáticas

Lo que hasta aquí se ha descrito tiene las siguientes consecuencias:

1. Dado que el propósito de nuestro diseño es propiciar el desarrollo de conocimiento experto mediante el uso de un instrumento basado en la evaluación formativa, el criterio general consiste en valorar el grado de destreza alcanzado por el evaluador en el

desarrollo de su pericia. El instrumento debe servir al evaluador en las dos dimensiones en que estará desempeñándose, como diseñador de un ambiente de enseñanza–aprendizaje efectivo y como aprendiz en el dominio de conocimiento propio de la comunidad de práctica (docente) a la que pretende incorporarse. Por ser sutil, debe destacarse la doble vertiente que la interpretación de la segunda dimensión implica: como experto en formación, es decir, como aprendiz, tanto en la materia como en el diseño de ambientes de enseñanza–aprendizaje sobre la misma.⁶¹

2. Al esquematizar la capacidad potencial para el aprendizaje podemos afirmar que: *nuestro cerebro aprende a «reducir la discordancia cognitiva» de manera consistente, actividad que busca asegurar que la función cognitiva recupere tan pronto como sea posible su situación dentro de una «zona de confort» aceptable.* Es con tal fin que de manera natural el aprendiz elabora y reconstruye un modelo del entorno.

El aprendizaje puede interpretarse como este proceso de «reducir la discordancia cognitiva» y si en lugar de facilitar la búsqueda del modelo para una totalidad se opta por diseñar de manera sistemática y gradual aquellos dispositivos “reguladores” que permitirían encauzar la operación espontánea, trazando progresivamente el paisaje mediante rasgos simples, definidos sobre sus elementos estructurales, el lineamiento que va a guiar cada una de las tareas de diseño del ambiente de aprendizaje podría responder a la siguiente cuestión: ¿cómo es posible establecer las condiciones adecuadas para minimizar el error de seguimiento del comportamiento esperado respecto al comportamiento observado en esta fase del proceso, dadas las “condiciones específicas” en que se va a desarrollar el aprendizaje?

Estas “condiciones específicas” corresponden a los niveles “actual” y “potencial” que determinan la extensión de la «zona de desarrollo próximo» (Vygotsky, 1978, p. 86) en la que el aprendiz habrá de transitar. Sería de esperarse que el alumno busque activamente «reducir la discordancia cognitiva» en que lo sitúa cada problema que el diseño le propone, adoptando primero un modelo hipotético, para tratar de validarlo

⁶¹ Representa el “intercambio de sombreros” de Edward De Bono (1970) en el proceso creativo.

luego, observando cómo ese modelo opera en el contexto poco estructurado que le plantea la situación específica de entrenamiento, es decir, combinando este modelo con los datos que el propio ejercicio suministra.

3. El conjunto de variables que nuestro diseño pretende controlar depende de la comprensión y el entendimiento del diseñador, además de la condición cognitiva actual del grupo al que el diseño está dirigido.

Durante el primer ciclo el diseñador no es otro que el experto que desarrolla su capacidad docente, quien podría recurrir al soporte de la presente narrativa. De ahí que durante ese primer ciclo es fundamental que esta descripción le aporte elementos suficientes, para que los evalúe y vaya formándose un juicio.

La narrativa tiene que apoyar el proceso reflexivo del diseñador, como si el texto fuese la voz de un “socio en el aprendizaje” con quien el diseñador mantiene un diálogo⁶². Un buen socio encontrará problemas interesantes para el trabajo en equipo, sugerirá hipótesis y aportará argumentos razonables a favor y en contra, al ponderar los resultados de cada prueba. El significado que la situación de aprendizaje contiene irá haciéndose evidente a medida que este diálogo, referente al objeto de conocimiento se desarrolle. En ciclos subsecuentes, las variables relevantes dentro del “conjunto meta” para el “regulador” corresponderán más a las que la experiencia del docente con el grupo de educandos determine, y menos, a las sugeridas por la narrativa.

4. El modelo básico de conocimiento es producto de una intuición previa y es el que se ha descrito a grandes rasgos en el primer capítulo. La “base de conocimiento” de este diseño permanecerá incorporada al proceso reflexivo que aquí se describe, actuando como un sistema con las características de una máquina que opera en el espacio de estados discretos bajo el control permanente del “triángulo de la evaluación” (Pellegrino, J. et al, 2003, p. 44).

⁶² Cf. Teoría de la Conversación de Pask, Scott y Kallikourdis (1973, 1975).

Este modelo básico podría depurarse conforme el proceso avanza, o bien, podría cambiarse la «interpretación» que se da a lo «observado». Optaremos por conceder mayor validez a las aportaciones de la investigación científica, que es la fuente de los modelos incorporados al instrumento y flexibilizar en cambio el criterio interpretativo que servirá de base al «triángulo de la evaluación».

Recurriendo a la inferencia Bayesiana, partiremos de una expectativa inicial adquirida del panorama que un conjunto de datos, cuya solidez asumimos, nos lleva a elaborar, para ir en búsqueda de una causa que posiblemente la explique. Asumiendo entonces que esa causa fuese válida, se estimará la probabilidad de que ocurra el efecto, para de ahí extraer la conclusión referente a la efectividad de la causa. La aproximación estadística al proceso de aprendizaje con la que este diseño procede, trata de apelar, con un mínimo de ejemplos en cada caso, a los distintos dominios del conocimiento en que radican las premisas de los diferentes patrones a los que se alude⁶³.

El proceso reflexivo podría complementarse con una exploración experimental en el seno de la comunidad de práctica científica elegida como “meta”. En la medida en que la argumentación lo requiera habría que mostrar los resultados, a fin de ejemplificar con una aplicación la relevancia de los factores incorporados a la estrategia didáctica. Estos resultados no sólo complementarían los aportados por la argumentación, sino que podrían mostrar cómo el diseño conceptual del instrumento contribuye a estructurar la narrativa. Recíprocamente, para elaborar los argumentos, sería útil contar con datos aportados por la comunidad. Ahí, por ejemplo, tal vez sería posible resolver cuestiones como las que se refieren a la medida en que el sentido común operaría en los procesos de razonamiento⁶⁴ que nos interesa fomentar. Todos estos datos son la base para elaborar la estimación inicial de la hipótesis de trabajo con la que sería posible poner en marcha el proceso.

⁶³ Razonamiento no-monótono. Cf. Brewka et al (2008).

⁶⁴ Cf. Revisión histórica del problema en Bochman, A. (2011) *Nonmonotonic Reasoning*.

5. El instrumento para la evaluación formativa objeto del presente diseño tiene que estructurarse a medida que avanza el proceso de reflexión que lo describe. Pero a la vez constituye la piedra en la cúspide, que desempeña la función de asegurar el apoyo angular para la armadura de todo el edificio. Así que, terminado o no, el instrumento no sólo tiene que indicar de alguna manera el grado de desarrollo alcanzado por el conocimiento experto que lo está construyendo, sino que ha de proveer una dimensión de referencia para el diseñador, quien tiene que visualizarla a cada momento, sirviéndose de ella como el maestro albañil recurre al “reventón” y la plomada⁶⁵ para cuantificar reiteradamente “a ojo”, tal y como se evalúa una experiencia estética.

6. El diseño del instrumento avanza “en retrospectiva” (Wiggins y McTighe, 1998) cuando impone un límite sobre las variables que determinan la calidad del proceso, desde el punto extremo en que se hará la evaluación. Clasificar estas variables en función de si se cumplen o no las condiciones de calidad implícitas en el concepto de la «zona de desarrollo próximo», equivale a acotar el error “fuera de la muestra”⁶⁶, al estimar el efecto de la hipótesis sobre la función objetivo, producto del proceso de aprendizaje. Se define así, desde la perspectiva del diseñador (es decir, del conocimiento experto), una de las especificaciones generales del regulador que estamos desarrollando: minimizar una diferencia.

En el capítulo 4 consideraremos la formulación dual del problema, mostrando cómo la estrategia de diseño enfoca el proceso desde la perspectiva del “aprendiz” en el modelo de “las cuatro lentes” (Bransford, J. et al, 2000, p. 134) en combinación con un modelo de la Teoría Estadística del Aprendizaje, operando con la guía del “triángulo de la evaluación” (Pellegrino, J. et al., 2003, p. 44) y acotando el criterio estético (el rango para valorar la «certeza inmediata»), de acuerdo con la pauta de Wiggins y McTighe de

⁶⁵ Coloquialmente se denominan así los hilos tensos que indican la posición de los ejes ortogonales sobre el punto en que el proceso constructivo se encuentra al momento de evaluar.

⁶⁶ Recuérdese que dentro del marco de la Teoría Estadística del Aprendizaje el aprendiz solo ve lo que está “dentro de la muestra”. El modelo del diseñador, la función de distribución representativa de la noción que se espera sea descubierta por el aprendiz, siempre permanecerá “fuera” de la muestra.

que «un estudiante que realmente entiende... explica, interpreta, aplica, ve en perspectiva, percibe otros puntos de vista con aprecio y sensibilidad (demuestra empatía) y revela autoconocimiento» (Wiggins, G. & McTighe, J., 1998, p. 66 – 67).

El mapa de la Figura 3.19 reúne los principales elementos conceptuales del instrumento y las relaciones entre ellos, mostrando cómo los diversos modelos descritos en los capítulos 2 y 3 se vinculan para integrar el esquema representativo del proceso que el diseñador procura elaborar.

Podemos encontrar una descripción muy breve, pero suficiente, del uso este recurso acudiendo a las palabras de uno de sus autores⁶⁷:

“Los mapas de conceptos son una herramienta para la representación de conocimiento... Los mapas de conceptos deberían leerse de arriba hacia abajo, procediendo de los conceptos de orden más elevado –más generales– en la parte superior hacia los conceptos de orden más bajo –más específicos– en la parte inferior”. (Novak, J., 1998, p. 3)

No es difícil extraer una sugerencia del proceso constructivo que el mapa representa. Simplemente, hay que seguir las instrucciones asociadas con el diseño del mapa y aplicar la manera de pensar a la que su contenido se refiere.

Al operar con un instrumento de esta naturaleza, el diseñador cuenta con una herramienta útil para ponderar paso a paso los efectos que sus decisiones posiblemente producirán sobre la efectividad del ambiente en el aula. Cada vez que el docente decide movilizar sus recursos, p. ej., al construir conjuntos de ejercicios para el entrenamiento de los aprendices, cuenta con un andamiaje robusto en el que la «certeza inmediata» es un indicador confiable del “cambio conceptual”.

31 Figura 3. 19 Mapa de conceptos que representa el proceso constructivo del instrumento.

⁶⁷ Novak, J. & Gowin, D. (1984) *Learning How To Learn*. New York: Cambridge University Press.

