

Capítulo 8

Identificación de Escenarios en un Proceso de Depuración

*“Sólo quien madruga se viste
y quien llega primero bebe agua clara”*
Anónimo.

Para comenzar

La presente aplicación se desarrolló dentro de un proyecto global ligado al denominado ‘Comité de Trabajo de los Pirineos’, que implica cuatro regiones localizadas entorno a dicha cadena montañosa y cuyo objeto de trabajo es el control avanzado de una estación depuradora de aguas residuales — en corto, EDAR — . Los procesos biológicos implicados en el tratamiento de las aguas son inestables y mal definidos, mientras que la normativa europea al respecto es cada vez más estricta. El sistema de supervisión debe realizar una doble función, una tarea de vigilancia de la instalación y otra de control del proceso de depuración. La nueva máquina de aprendizaje *K-SVCR* ha sido utilizada durante la fase primera de supervisión: el sistema de control debe poder decidir si el proceso se encuentra en un escenario de trabajo anormal por lo que debe ser llevada a cabo una acción correctora, es decir, el sistema experto que estaría asociado debe ser capaz de clasificar el funcionamiento del proceso dentro de un cierto conjunto de escenarios.

8.1 Introducción

Las estaciones depuradoras de aguas residuales son sistemas multivariables complejos que exhiben un rango amplio de comportamientos dinámicos, el caudal de agua de

entrada es variable en calidad y cantidad, la población de microorganismos varía en el tiempo en cantidad y en número relativo de especies. De otra parte, las variables medibles son insuficientes debido a que existen pocos analizadores y sus medidas acostumbran a ser imprecisas. Estas razones provocan que el uso de técnicas de control tradicionales sea dificultoso e incluso imposible. Un sistema supervisor tendrá una doble tarea a su cargo: monitorización del proceso y control del proceso. La monitorización comprende la recogida y procesado de datos para tener un conocimiento actualizado del estado de la planta. En esta fase el sistema de supervisión debe decidir si el estado del proceso es anormal y qué acción correctiva debe ser tomada. Un conjunto de escenarios fue definido para estudiar la viabilidad de utilizar un sistema experto para la supervisión de la EDAR en situaciones con perturbaciones accidentales o generadas por el comportamiento humano. Estos escenarios se corresponden con situaciones que no fueron tenidas en cuenta durante el diseño original del sistema de control ya que no fueron contempladas como condiciones de operación normal de la planta. En consecuencia, deben ser realizadas acciones especiales para recobrar el estado estable de la estación depuradora [Polit et al., 2000a], [Polit et al., 2000b].

Las situaciones anormales son producidas básicamente por dos tipos de perturbaciones en el caudal de entrada de aguas residuales. Algunas de estas perturbaciones son conocidas ya que se producen por las variaciones cíclicas en el consumo de agua a lo largo de una jornada diaria, e incluso en períodos estacionales de mayor o menor demanda. Son realidades perfectamente identificables por el responsable de planta y las acciones correctoras pueden realizarse de forma inmediata. En estas situaciones, las estadísticas sobre experiencias previas son utilizadas para caracterizar la relevancia de la perturbación y la magnitud de las acciones de control. Un caso diferente lo constituyen las perturbaciones accidentales debidas básicamente a cambios impredecibles en la meteorología — lluvia o tormenta — o al vertido incontrolado — en exceso o en algunos casos prohibido — de residuos. El control en tales escenarios se hace difícil debido que no existen apenas experiencias previas y los cambios que se producen en el comportamiento de la estación residual no son predecibles. Son estas últimas situaciones las que motivan la presente aplicación y con esta finalidad han sido elaborados 15 escenarios que permiten modelizar perturbaciones accidentales y compararlas con períodos de normalidad en el funcionamiento de una EDAR municipal situada en la comarca del Bages en Catalunya.

8.1.1 La EDAR y el Simulador

Las EDARs usadas en la depuración de aguas para uso urbano están generalmente sujetas a tres niveles de tratamiento. El primero de ellos es de tipo mecánico, una eliminación de los sólidos en suspensión; el segundo nivel se realiza en un biorreactor para eliminar la mayor parte de elementos bioquímicos demandantes de oxígeno; por fin el tercer paso elimina nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, por medio de un decantador.

Es en el segundo nivel, el proceso biológico del biorreactor, donde la demanda de control es mayor y constituye el foco del estudio. La EDAR utilizada como aplicación está basada en un proceso del tipo AAA — del inglés, *Alternating Aerobic and Anaerobic* —, operando bajo un alternancia de condiciones de entrada y salida de aire, para lo que usa un controlador de proceso sensible a cambios en el nivel de oxígeno disuelto en el agua residual. En comparación con otros procesos el AAA tiene un bajo coste, es eficiente en el gasto de energía y produce una menor cantidad de lodos.

La EDAR del Bages posee tres tanques o canales aireados trabajando en serie con la concentración de oxígeno siendo controlada independientemente. El agua residual entra directamente al canal exterior donde es mezclada con partículas biológicas, de aquí pasa a través de un colador al canal medio, y finalmente llega al canal interior completando un período de retención de aproximadamente 42 horas. Tras este procesamiento, la mezcla es reposada en el decantador que separa la biomasa en suspensión del agua tratada. La mayor parte de la biomasa es recirculada al tanque aireado de nuevo, mientras que una pequeña cantidad es purgada diariamente.

La base de datos fue tomada en condiciones de funcionamiento normal de la planta y corresponde a los meses de operación de marzo, julio y octubre de 1997 tomando algunas medidas a lo largo del día. Las variables medidas por día son el flujo, los déficits de oxígeno (DBO5, DQO), la materia en suspensión, el nitrógeno total, el amoníaco, el nitrato y el pH tanto en la entrada como en la salida del proceso. La característica más relevante de los datos es la extrema incidencia de la no existencia de valores sobre la calidad del agua final en forma de resultados analíticos. Con la intención de atenuar esta influencia, se generó un conjunto de datos artificiales mediante el programario comercial GPS-X de Hydromantis Inc especialmente diseñado para la simulación de EDARs.

8.1.2 Los Escenarios

Se han seleccionado cuatro escenarios de perturbaciones accidentales representando las principales variaciones del comportamiento normal en situaciones como tiempo lluvioso, tormenta, exceso de material orgánico y exceso de nitrógeno en el caudal de entrada. Los 15 subconjuntos de aprendizaje fueron obtenidos combinando estas 4 situaciones con el comportamiento normal extraído de datos reales en los tres meses de operación. Cada escenario es restringido a la simulación de un solo mes.

Comportamiento Normal Posee variaciones diarias identificadas por la actividad de la ciudad. Una actividad mínima se localiza antes de las 5 a.m. y comienza a incrementarse en ese momento. El mayor cambio se produce entorno a las 8-9 de la mañana, para después mantener un régimen con poca variación hasta la tarde, cuando la planta alcanza el máximo de actividad diaria. Otra periodicidad predecible

se producirá de acuerdo a un periodo semanal y estacional: los días laborables se diferencian perfectamente de los festivos y de igual forma las vacaciones. Por ello, en la definición de los escenarios se ha evitado estas variaciones.

Lluvia Esta perturbación accidental produce un aumento en la entrada de agua limpia proveniente de sobraderos y sistemas de colectores. Su duración es de 3 días.

Tormenta Esta situación ha sido definida para representar una forma específica de lluvia común en la región donde la planta está localizada. Las características básicas son una corta duración y un alto nivel de precipitación. Implica que los desechos acumulados en los colectores llegan inicialmente a la planta seguidos por un crecimiento enorme en la entrada de agua limpia.

Aumento Incontrolado de Material Orgánico Son escenarios caracterizados por un rápido incremento en la cantidad de residuos producidos por algún vertido incontrolado sin aumento en el caudal de entrada.

Aumento Incontrolado de Productos Nitrogenados La situación anterior está relacionada con un exceso de componentes basados en carbono. Otro problema común es causado por un incremento impredecible de amoníaco en el flujo de entrada.

En cualquiera de estos escenarios, la evolución que siguen los datos en la simulación es la siguiente: durante los primeros 10 días la planta presenta un comportamiento normal y los puntos de trabajo se estabilizarán a unos ciertos valores constantes. Una perturbación es introducida en el día 10 cumpliendo las características que definen el escenario. El efecto de la perturbación sobre el sistema dinámico es de aproximadamente 5 días, pero presenta variaciones significativas entre un escenario y otro. Después, entorno del decimoquinto día la planta retorna a su comportamiento normal. Dos dinámicas pueden ser distinguidas, una dinámica global de primer orden descrita anteriormente y, dentro de ella una dinámica de periodicidad 24 horas correspondiente a una entrada de tipo sinusoidal.

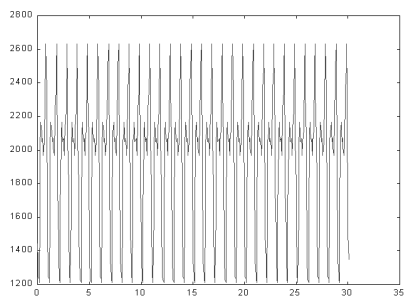
8.2 Uso de Máquinas *K*-SVCR

De entre todas las medidas de la EDAR, se escogieron 6 variables como aquellas más representativas para determinar el tipo de escenario en el que se desenvuelve el proceso. Estas son el caudal de entrada, el DQO en la entrada, el nivel de nitrógeno total, el oxígeno O_2 disuelto en el segundo tanque, el DQO en la salida y el nivel de

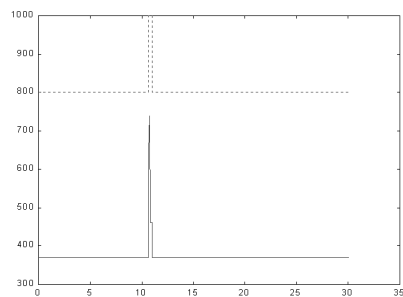
amoníaco NH_4 . En la Figura 8.1 puede apreciarse un ejemplo de un escenario con un aumento incontrolado de material orgánico. Además, son claras las fluctuaciones de medida a lo largo de un día debido al comportamiento del consumo humano, por lo que se decidió trabajar sobre incrementos en las variables de entrada para capturar la tendencia temporal, generándose unas entradas como las que pueden apreciarse en 8.2 también para el caso del ejemplo anterior. De hecho, la gran mayoría de EDARs trabajan con medidas diarias promediadas de diversas tomas analizadas a lo largo del día.

Al tener datos simulados con una frecuencia de 1 hora durante un mes, la cantidad de información acumulada es muy elevada pero su significación es pequeña de forma puntual puesto que los datos tomados un par de horas antes o después a un cierto estado reflejarán igualmente bien el comportamiento de la EDAR. Es por ello que el entrenamiento se ha focalizado en determinar el momento en que acontece una perturbación significativa sobre el comportamiento de trabajo bajo control normal de la planta. Tras avisar de la aparición de esta perturbación, existe un periodo de transición hasta que la planta vuelve a la normalidad que no se ha tenido en cuenta en su totalidad puesto que es un tiempo que puede evaluarse con facilidad a partir de la práctica y en cambio supone una gran dificultad de captura distinguir entre transitorios de diferentes escenarios cuando sólo se dispone de 3 evoluciones de cada escenario. Es por ello que en el caso de uso de máquinas *K-SVCR* se ha optado por emitir una respuesta nula cuando el escenario que recibe mayor número de votos en la combinación de dicotomías suma una cantidad negativa significativa.

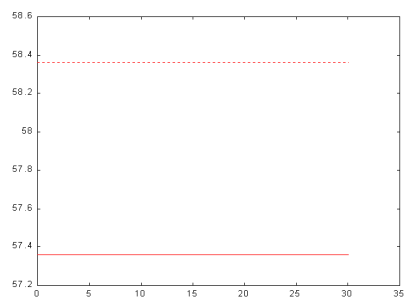
Tras realizar el entrenamiento sobre los escenarios conocidos se ha evaluado sus prestaciones sobre 4 nuevos escenarios que fueron creados en un caso como combinación de dos escenarios conocidos y de forma novedosa en los otros tres casos. En la Figura 8.3 se observan las gráficas con las respuestas emitidas por la arquitectura de multclasificación basadas en máquinas *K-SVCR*. Los escenarios han sido numerados de forma que 1 significa que el escenario es el caso de un vertido excesivo o incontrolado, 2 representa que existe un exceso de amoníaco, 3 es una situación de trabajo normal, 4 es cuando llega agua de lluvia a la planta y 5 es un escenario de tormenta. En todos los casos la máquina ha clasificado correctamente y puede observarse como tras detectar la perturbación la máquina de supervisión entra en un periodo de respuesta nula indicando que existe una transición entre el estado anormal y la vuelta a la normalidad. Este estado de transición es el que provoca en algunos casos la mal calificación de esta fase como si se produjera un paso al estado 1. Este problema podría solucionarse reduciendo el espacio de muestras de entrenamiento de este escenario de exceso de vertidos pero supondría perder información sobre el escenario y quizás provocar que el supervisor tomara como normal un incremento leve con tendencia hacia el estado 1. Por contra, es fácil de prever por un operario de planta o por el sistema experto asociado que una entrada en un escenario no ‘normal’ viene continuada por un transitorio nulo, por lo que esta falsa alarma puede ser fácilmente asimilada en un post-procesado.



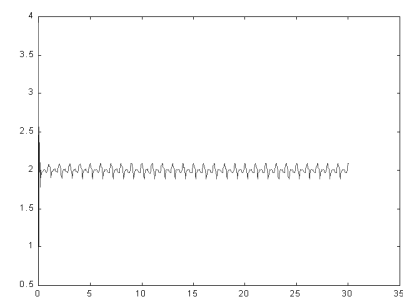
(a) Caudal de Entrada



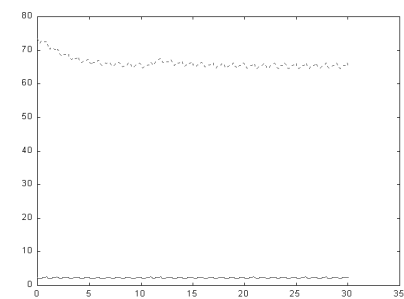
(b) DQO en la Entrada



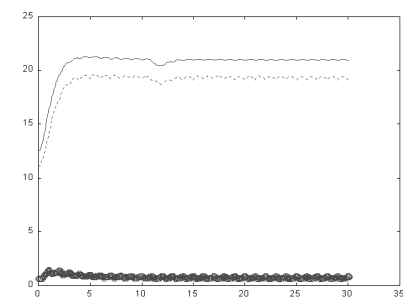
(c) Nitrogeno Total



(d) Oxígeno disuelto en Tanque 2

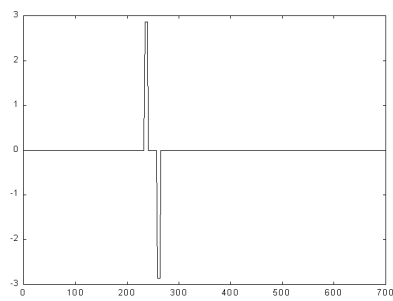


(e) DQO en la Salida

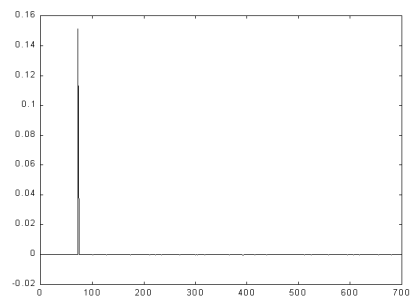


(f) Nivel de Amoníaco

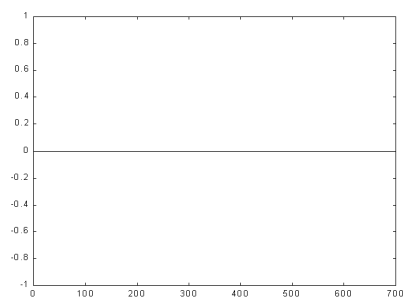
Figura 8.1: Gráficas con datos originales utilizados para entrenar la arquitectura de multclasificación con máquinas K -SVCR.



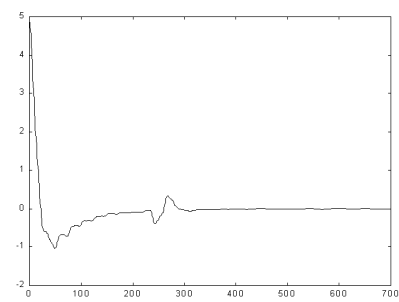
(a) Caudal de Entrada



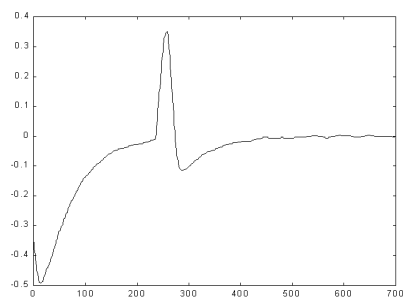
(b) DQO en la Entrada



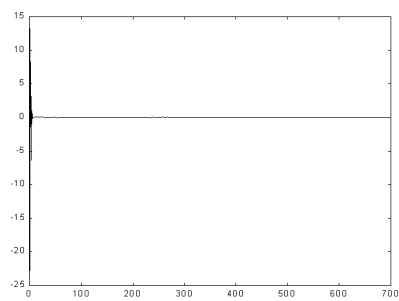
(c) Nitrogeno Total



(d) Oxígeno disuelto en Tanque 2

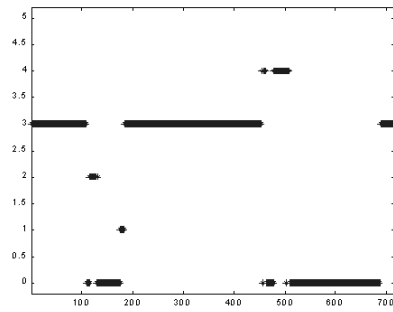


(e) DQO en la Salida

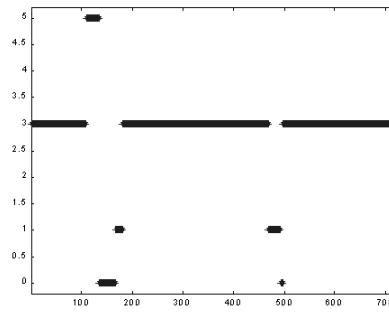


(f) Nivel de Amoníaco

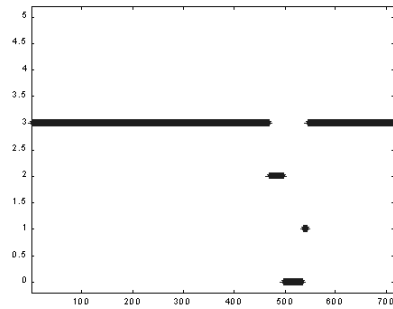
Figura 8.2: Gráficas con datos en forma incremental utilizados para entrenar la arquitectura de multclasificación con máquinas *K*-SVCR.



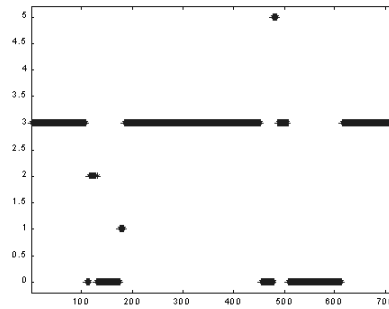
(a) Escenario 1



(b) Escenario 2



(c) Escenario 3



(d) Escenario 4

Figura 8.3: Resultados sobre diferentes escenarios de depuración de una EDAR utilizando una arquitectura de multclasificación con máquinas K -SVCR.

8.3 En Resumen

El problema de identificación de escenarios de trabajo de una estación depuradora de aguas residuales ha sido resuelto por medio de una arquitectura de multclasificación basada en máquinas K -SVCR. La temporalidad de los datos ha sido capturada trabajando con incrementos o tendencias evaluados cada 24 horas intentando reflejar los muestreos tomados en EDARs convencionales. Con el fin de reducir la complejidad del problema, se ha optado por focalizar la identificación y tratar de forma muy reducida el periodo de transición de vuelta al estado normal de la planta.

