



Universitat de Girona

**DESENVOLUPAMENT D'UN SISTEMA DE  
SUPORT A LA DECISIÓ AMBIENTAL PER A LA  
GESTIÓ DE LES INFRASTRUCTURES  
HIDRÀULIQUES, AMB L'OBJECTIU DE  
GARANTIR LA QUALITAT DE L'AIGUA A LA  
CONCA DEL BESÓS**

**Francesc DEVESA i PEIRÓ**

**ISBN: 84-689-9112-0  
Dipòsit legal: GI-654-2006**



**Universitat de Girona**

**Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària**



**LABORATORI D'ENGINYERIA QUÍMICA I AMBIENTAL**

---

**Desenvolupament d'un Sistema de Suport a la Decisió  
Ambiental per a la Gestió de les Infraestructures  
Hidràuliques, amb l'Objectiu de Garantir la Qualitat  
de l'Aigua a la Conca del Besòs**

---

Memòria presentada per Francesc Devesa i Peiró,  
per optar al grau de Doctor per la Universitat de Girona.

Girona, 2006

Directors: Dr. Manel Poch Espallargas  
Dr. Joaquim Comas Matas



MANEL POCH ESPALLARGAS i JOAQUIM COMAS MATAS,  
Professors del Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària de la  
Universitat de Girona

## CERTIFIQUEN

---

Que el llicenciat Francesc Devesa i Peiró ha dut a terme, sota la seva direcció, el treball que, amb el títol *Desenvolupament d'un Sistema de Suport a la Decisió Ambiental per a la Gestió de les Infraestructures Hidràuliques, amb l'Objectiu de Garantir la Qualitat de l'Aigua a la Conca del Besòs*, presenta en aquesta memòria, la qual constitueix la seva Tesi per a optar al Grau de Doctor per la Universitat de Girona.

I perquè en prenguem coneixement i tingui els efectes que correspongui, presentem davant la Facultat de Ciències de la Universitat de Girona l'esmentada Tesi, signant aquesta certificació a

Girona, 3 de febrer del 2006

Manel Poch Espallargas

Joaquim Comas Matas



## Agraïments

Als meus directors de tesi. A en Manel Poch, director i visionari de la idea principal plasmada en el projecte, per la seva supervisió correcta en tot moment, pel seu recolzament i per les pujades de moral en els moments en els que aquesta estava més baixa. A en Quim Comas que, tot i incorporar-se al projecte en l'últim moment, ha sabut com ajudar-me i com "polir" els detalls interminables durant la fase de redacció, així com per la seva eterna disposició a ajudar (l'expressió "no puc" no hi és al seu vocabulari).

A l'Ignasi, perquè no puc oblidar que va ser gràcies a ell que vaig poder optar a la beca que finalment em concediren i pels ànims donats entre passadissos....

A tota la gent del LEQUIA. A Jaume, August, Marilós, Maria, Miquel, Jesús, Alda, perquè durant tots aquests anys sempre heu estat disposats a donar un cop de mà amb el que fes falta i perquè el bon clima de treball existent només s'aconsegueix amb l'esforç de tots.

A la tota la gent del Consorci per la Defensa del la Conca del Riu Besòs. Al Josep Arràez i l'Àngel Freixó, per la seva col·laboració en tot moment i per brindar-me la possibilitat de realitzar un projecte semi-aplicat. Al Carles, per la seva intervenció directa en el projecte, per la seva clariïdència durant la construcció del Programa de Transferència i pels bons moments passats junts, recorrent el Congost, juntament amb en Manel Isnard. Així com a altra gent que hi col·laborà puntualment: José Molina, Francesc Tàsies i Núria Herrero.

A la gent del projecte Llobregat. A Marta Alonso, Xavier Ibàñez, Lluís Godé, Jordi Bartrolí, Ignacio López i Coral Verge per la seva ajuda desinteressada. To Thorsten Wind, for your kind reception and collaboration in Düsseldorf preparing the Llobregat sampling campaign.

A tota la gent que ha passat o que encara es troba a les guarderies 1 i 2, als laboratoris i SISLTECH, per estar sempre al costat disposats a ajudar o a passar un bon moment fent un cafè, cerveseta, partidets de futbol/bàsquet/squash.... Elvira, Núria, Esther, Oriol, Gemma, Teia, Moi, Hèctor, Ramon, Marta, Anna, Ariadna, Xavi, Sergio, Montse A., Ferran, Toni, Pere, Gemma R. (indispensable a qualsevol laboratori), Jordi (que la força t'acompanyi), Clàudia (sempre atenta per tot), Peter, Montse, Lluís, Christian (l'home a més bon humor del món), Sebas (al final sí que parlem la mateixa llengua) i Helio (amb aquells moments de riure, esport i diversió la vida té un altre color).

A tots aquells companys de carrera i amics que han fet que la integració a Girona fos completa des d'un bon principi, entre trobades gastronòmiques, sortides de farra, culturals i naturals, partidetes de Catan , calçotades i visites pel país. Sala, Pepe, Pablo, Núria, Rosi, Sebas, Jordi, Christian, Sílvia, Xavi, Sílvia, Jordi, Ignasi, Lídia, Aleix, Joan i Damià (companys de pis amb un record immillorable), Josep i Montse (sé segur que la distància no minvarà la nostra amistat, que només podem pagar convidant-vos una i mil vegades a venir a Oliva), Maria i Lluís (gironí amb qui tinc més confiança, que des de el 1996 fins ara t'has fet estimar i que has compartit absolutament tots els aspectes de la meua vida a Girona: carrera, doctorat, bàsquet, farra... sense perdre tampoc, ni per un moment, el teu somriure).

Al Ramon, l'Esther, l'Eduard, la Meri, el Jordi i la Rut, per la sempre càlida acollida a casa seva i per fer-me sentir com a casa..

Als pares i familiars de la meua estimada de Tremp, perquè sempre m'han rebut amb una abraçada i m'han proporcionat les sensacions familiars necessàries quan s'està lluny de casa.

Als nous amics trempolins, Oriol, Marc, Núria, Fer, Sandra, Jesús, Toni, Quiri, Vero i Meri, per oferir-me la seva amistat i pels bons moments passats.

Als amics d'Oliva de tota la vida, Miguel, Diego, Carol, Àlvar, Ignacio, Mariola, Toni, Cristina, Salva, Paco, Micó, Rafa, Rubén, Sinibaldo, Josep, Toni i molts més....que, simplement, heu estat al meu cap en tot moment, quan estava lluny de casa, i perquè heu aconseguit mantindre sempre la flama encesa.

A la meua família (pares, germans, tios, cosins, uelos i iaïos), perquè es impossible fer-ho millor del que ho feu fet, perquè les llàgrimes de tristesa es tornen de felicitat quan pense en vosaltres i perquè els sentiments d'admiració, agraïment i, sobretot, amor, que senc cap a vosaltres no tenen límit.

Escolta amada meua, és per tu que m'emocione amb qualsevol cosa que fem junts, és per tu que el futur no em fa por, és per tu que sóc feliç, és per tu. T'estime.

Girona, 1 de febrer de 2006

Francesc Devesa

Amb el suport del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya i del Fons Social Europeu.





## Resum

Tradicionalment, les infraestructures hidràuliques de sanejament s'han gestionat d'una forma aïllada, tenint en compte només les característiques de l'aigua a l'entrada i a la sortida de cada instal·lació. La tendència actual, promoguda per la Directiva Marc de l'Aigua (DMA), és la de concebre la conca hidrogràfica com a unitat de treball, dins de la qual les infraestructures hidràuliques s'han de gestionar d'una forma integrada i tenint en compte l'estat del medi receptor.

Aquesta tesi presenta un projecte de gestió integral d'infraestructures hidràuliques de sanejament a la Conca del riu Besòs. S'han considerat dos sistemes de sanejament (La Garriga i Granollers) amb les seves respectives xarxes de clavegueram i Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDAR), i un tram del riu Congost, afluent del Besòs, com a medi receptor de les seves aigües residuals. Amb aquesta finalitat es construeix i s'utilitza un Sistema de Suport a la Decisió Ambiental (SSDA). Aquesta eina incorpora l'ús de models de simulació de qualitat de l'aigua pels sistemes de clavegueram, EDAR i riu, com a forma d'extracció de coneixement sobre la gestió integrada d'aquests elements. Aquest coneixement es conceptualitza, posteriorment, en forma d'arbres de decisió, que proporcionaran a l'usuari les actuacions a realitzar davant de les diferents situacions reals de gestió diària.

En el primer capítol s'introdueixen els conceptes bàsics per entendre el funcionament i les problemàtiques de gestió d'un sistema de sanejament d'aigües residuals, es fa una breu revisió de la legislació europea en matèria d'aigües residuals, es citen altres treballs que es centren en la gestió de la qualitat de l'aigua a escala de conca, s'introdueix també el concepte de SSDA i, finalment, es fa una revisió històrica de la qualitat de l'aigua a la conca del Besòs.

Els objectius de la tesi es defineixen en el capítol 2.

En el capítol 3 es detallen els passos seguits en la construcció del SSDA. Després d'una fase de recollida de dades i adquisició de coneixement sobre la gestió dels sistemes de sanejament i el riu Congost, s'implementen els models de qualitat de l'aigua per a cadascun dels elements considerats (les xarxes de clavegueram de La Garriga i Granollers, l'EDAR de La Garriga, l'EDAR Granollers i el riu Congost). En aquests capítol també s'explica la construcció d'un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) de la zona d'estudi, així com el disseny i construcció d'un programa de transferència de dades que s'utilitza per traspasar, automàticament, els resultats de les simulacions entre els diferents models.

La utilització dels models com eina de generació de nou coneixement sobre la gestió integral de les infraestructures hidràuliques s'explica en el capítol 4. En aquest capítol de resultats s'introdueixen 29 escenaris representant un ampli ventall de les situacions crítiques de gestió que es poden donar en la zona estudiada (precipitacions intenses, abocaments industrials incontrolats, obturacions de conductes, derivacions de cabals entre els sistemes de sanejament, etc.). També es presenten els resultats de les simulacions d'aquests escenaris respecte al cabal i qualitat de l'aigua, en format de gràfics i agrupats en fitxes, així com una breu anàlisi de cadascun. A continuació es presenten unes regles d'actuació, en forma d'arbres de decisió, extretes a partir de l'anàlisi dels resultats dels escenaris. En l'últim apartat d'aquest capítol es presenta un esquema de funcionament del SSDA incorporant aquestes regles d'actuació com a base de coneixement.

En el capítol 5 es presenten les conclusions de la tesi i, finalment, s'afegeix un apartat on s'expliquen les línies de treball futures.

## Resumen

Tradicionalmente, las infraestructuras hidráulicas de saneamiento se han gestionado de una forma aislada, sólo teniendo en cuenta las características del agua en la entrada y la salida de cada instalación. La tendencia actual, promovida por la Directiva Marco del Agua (DMA), es la de concebir la cuenca hidrográfica como unidad de trabajo, dentro de la cual las infraestructuras hidráulicas se tienen que gestionar de una forma integrada y teniendo en cuenta el estado del medio receptor.

Esta tesis presenta un proyecto de gestión integral de infraestructuras hidráulicas de saneamiento en la Cuenca del río *Besòs*. Se han considerado dos sistemas de saneamiento (La Garriga y Granollers) con sus respectivas redes de alcantarillado y Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), y un tramo del río Congost, afluente del *Besòs*, como medio receptor de sus aguas residuales. Con esta finalidad se construye y utiliza un Sistema de Soporte a la Decisión Ambiental (SSDA). Esta herramienta incorpora el uso de modelos de simulación de calidad del agua para sistemas de saneamiento, EDAR y río, como forma de adquisición de conocimiento sobre la gestión integrada de estos elementos. Este conocimiento se conceptualiza, posteriormente, en forma de árboles de decisión, que proporcionan al usuario las actuaciones a realizar frente a las diferentes situaciones reales de gestión diaria.

En el primer capítulo se introducen los conceptos básicos para entender el funcionamiento y las problemáticas de gestión de un sistema de saneamiento de aguas residuales, se hace una breve revisión de la legislación europea en materia de aguas residuales, se citan otros trabajos que se centran en la gestión de la calidad del agua a escala de cuenca, se introduce también el concepto de SSDA y se hace una revisión histórica de la calidad del agua en la cuenca del *Besòs*.

Los objetivos de la tesis se definen en el capítulo 2.

En el capítulo 3 se detallan los pasos seguidos durante la construcción del SSDA. Después de una fase de recopilación de datos y adquisición de conocimiento sobre la gestión de los sistemas de saneamiento y del río Congost, se implementan los modelos de calidad del agua para cada uno de los elementos considerados (las redes de alcantarillado de La Garriga y Granollers, la EDAR La Garriga, la EDAR Granollers y el río Congost). En este capítulo también se explica la construcción de un Sistema de Información Geográfico (SIG) de la zona de estudio, así como el diseño y construcción de un programa de transferencia de datos que se utiliza para traspasar, automáticamente, los resultados de las simulaciones entre los diferentes modelos.

La utilización de los modelos como herramienta de generación de nuevo conocimiento sobre la gestión integral de las infraestructuras hidráulicas se explica en el capítulo 4. En este capítulo de resultados se introducen 29 escenarios representando un amplio abanico de la situaciones críticas de gestión que se pueden dar en la zona estudiada (precipitaciones intensas, vertidos industriales incontrolados, obturaciones de conductos, derivaciones entres sistemas de saneamiento, etc.). También se presentan los resultados de simulación de estos escenarios, respecto al caudal y la calidad del agua, en formato de gráficos y agrupados en fichas, así como también se presenta un breve análisis de cada uno. A continuación se presentan unas reglas de actuación, en forma de árboles de decisión, extraídas a partir del análisis de los resultados de los escenarios. En el último apartado de este capítulo se presenta un esquema de funcionamiento del SSSDA incorporando estas reglas de actuación como base de conocimiento.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones de la tesis y, finalmente, se añade un apartado donde se explican las líneas de trabajo futuras.

## Abstract

Hydraulic infrastructures for sanitation have traditionally been managed separately, taking into account only the characteristics of the water at the entry and exit points of each installation. The current tendency, promoted by the Water Framework Directive (WFD), is to treat the hydrographic basin as a single area of operations within which hydraulic infrastructures have to be managed in an integrated manner, taking into account the condition of the receptor environment.

This thesis presents an integrated management project for hydraulic sanitation infrastructures at the basin of the River Besòs. Two sanitation systems were taken into account (La Garriga and Granollers) with their respective sewage systems and Wastewater Treatment Plants (WWTP), and one stretch of the River Congost, a tributary of the Besòs, as a receptor environment for their waste water. To this end, an Environmental Decision Support System (EDSS) was constructed and used. This tool incorporates the use of water quality simulation models for the sewage systems, WWTP and river as a means of obtaining knowledge about the integrated management of these elements. This knowledge is later conceptualised in the form of decision trees, which provide the user with the interventions to be carried out when faced with the various real situations which arise in day-to-day management.

The first chapter introduces the basic concepts required to understand how a waste water sanitation system works and the problems involved in managing it, and briefly reviews European legislation on the subject of waste water. Other works centred on water quality management at the river-basin level are discussed and the concept of the EDSS is introduced. Finally, there is a historical review of water quality in the Besòs basin.

The aims of the thesis are set out in chapter 2.

Chapter 3 sets out the steps taken to build the EDSS. After collecting data and acquiring knowledge of the management of the sanitation systems and the River Congost, water quality models are applied to each of the elements under consideration (the sewage systems of La Garriga and Granollers, the WWTP of La Garriga, the WWTP of Granollers and the River Congost). This chapter also explains the construction of a Geographic Information System (GIS) for the area under study, as well as the design and construction of a data transfer program used to automatically transfer the results of simulations among the different models.

The use of models as a tool for generating new knowledge about the integrated management of hydraulic infrastructures is explained in chapter 4. This chapter sets out the results of 29 scenarios, representing a broad range of critical management situations that can arise in the zone under study (heavy rainfall, uncontrolled industrial spills, blockage of conduits, bypass flows between sanitation systems, etc.). It also presents the results of simulating these scenarios with respect to the flow and quality of the water, in graphical format and grouped into sets, together with a brief analysis of each one. It then presents some intervention rules, in the form of decision trees, produced by analysing the results of the scenarios. The final part of this chapter presents a working schema of the EDSS, incorporating these intervention rules as a knowledge base.

Chapter 5 presents the conclusions of the thesis. Finally, there is an appendix describing future lines of research.

<b>1.</b>	<b>Introducció .....</b>	<b>1</b>
1.1.	Sistema de sanejament d'aigües residuals urbanes.....	3
1.1.1.	Els sistemes de clavegueram .....	3
1.1.2.	Les Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDAR).....	6
1.1.3.	Problemàtiques en la gestió del sistema de sanejament .....	7
1.1.4.	Relacions entre el sistema de sanejament i el medi receptor.....	10
1.2.	La Directiva Marc de l'Aigua.....	12
1.3.	Gestió integral de conques.....	13
1.4.	Sistemes de Suport a la Decisió Ambiental (SSDA).....	23
1.5.	La conca del Besòs .....	25
<b>2.</b>	<b>Objectius.....</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>Construcció del SSDA-Besòs .....</b>	<b>31</b>
3.1.	Antecedents .....	31
3.2.	Àrea d'estudi .....	32
3.3.	Proposta de construcció del SSDA.....	33
3.4.	Anàlisi del problema.....	34
3.5.	Recollida de dades i adquisició de coneixement .....	36
3.5.1.	Sistemes de clavegueram.....	36
3.5.2.	EDAR .....	39
3.5.2.1.	EDAR La Garriga.....	39
3.5.2.2.	EDAR Granollers .....	41
3.5.3.	Riu .....	43
3.5.4.	Entrevistes personals .....	47
3.6.	Selecció i implementació de models .....	48
3.6.1.	Sistema de clavegueram .....	49
3.6.1.1.	Programa utilitzat .....	49
3.6.1.2.	Model numèric.....	50
3.6.1.3.	Construcció dels models de La Garriga i Granollers.....	52
3.6.1.3.1.	Els dipòsits de regulació.....	54
3.6.2.	EDAR .....	59
3.6.2.1.	Programa utilitzat .....	59
3.6.2.2.	Model numèric.....	60
3.6.2.3.	Construcció dels models de La Garriga i Granollers.....	64
3.6.2.3.1.	EDAR La Garriga.....	64



3.6.2.3.2.	EDAR Granollers .....	65
3.6.3.	Riu .....	68
3.6.3.1.	Programa utilitzat .....	68
3.6.3.2.	Model numèric.....	69
3.6.3.3.	Construcció del model del Congost.....	71
3.6.3.3.1.	Determinació del cabal mínim.....	75
3.6.4.	Sistema d'Informació Geogràfica.....	77
3.7.	Integració de models.....	78
3.7.1.	Consideracions prèvies .....	78
3.7.2.	Construcció del programa de transferència de dades .....	79
3.7.2.1.	Clavegueram a EDAR (Infoworks CS a GPS-X).....	80
3.7.2.2.	EDAR a riu (GPS-X a InfoWorks RS).....	81
3.7.2.3.	Sobreeixidors de clavegueram a riu (InfoWorks CS a InfoWorks RS)..	
	.....	82
<b>4.</b>	<b>Resultats .....</b>	<b>85</b>
4.1.	Utilització dels models .....	85
4.2.	Definició dels escenaris.....	86
4.3.	Resultats i anàlisi dels escenaris.....	98
4.4.	Síntesi de l'anàlisi dels escenaris.....	247
4.5.	Gestió de les infraestructures hidràuliques.....	248
4.5.1.	Construcció d'arbres de decisió.....	250
4.5.2.	Control dels dipòsits en condicions de temps sec.....	250
4.5.3.	Control dels dipòsits en condicions de pluja .....	251
4.5.4.	Control dels dipòsits en episodis de contaminació.....	254
4.5.5.	Control de les derivacions entre sistemes.....	257
4.6.	Funcionament del SSDA-Besòs. ....	261
<b>5.</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>263</b>
<b>6.</b>	<b>Línies de treball futures .....</b>	<b>267</b>
<b>7.</b>	<b>Referències bibliogràfiques.....</b>	<b>269</b>

## Abreviatures i símbols

<b>ACA</b>	Agència catalana de l'aigua
<b>ASMI</b>	Activated sludge model nº 1
<b>CDCRB</b>	Consorci per la defensa de la conca del riu Besòs
<b>CS</b>	Collections systems
<b>CTR</b>	Control en temps real
<b>DBO</b>	Demanda biològica d'oxigen ( $\text{g O}_2\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>DMA</b>	Directiva Marc de l'Aigua
<b>DQO</b>	Demanda química d'oxigen ( $\text{g O}_2\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>EDAR</b>	Estació depuradora d'aigües residuals
<b>ETAP</b>	Estació de tractament d'aigües potables
<b>IA</b>	Intel·ligència artificial
<b>IDESCAT</b>	Institut d'estadística de Catalunya
<b>IM</b>	Integració de models
<b>MES</b>	Matèria en suspensió ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>MLS</b>	Modelling simulations language
<b>N</b>	Nitrogen total ( $\text{g N}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amoni ( $\text{g N}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>NKT</b>	Nitrogen Kjeldahl total ( $\text{g N}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>NO<sub>2</sub></b>	Nitrit ( $\text{g N}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrat ( $\text{g N}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>NO<sub>x</sub></b>	Nitrits i nitrats ( $\text{g N}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>OD</b>	Oxigen dissolt ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>P</b>	Fòsfor total ( $\text{g P}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>PI</b>	Proporcional integral
<b>PTD</b>	Programa de transferència de dades
<b>PVC</b>	Clorur de Polivinil
<b>Q</b>	Cabal ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )
<b>RS</b>	River simulation
<b>SAIH</b>	Sistema automàtic d'informació hidrològica
<b>SCADA</b>	Supervisory control and data acquisition
<b>SE</b>	Sistema expert
<b>SIG</b>	Sistema d'informació geogràfica
<b>SSDA</b>	Sistema de suport a la decisió ambiental
<b>T</b>	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>UdG</b>	Universitat de Girona
<b>UPC</b>	Universitat Politècnica de Catalunya
<b>UPV</b>	Universitat Politècnica de València
<b>UTM</b>	Universal transverse mercator



# 1. Introducció

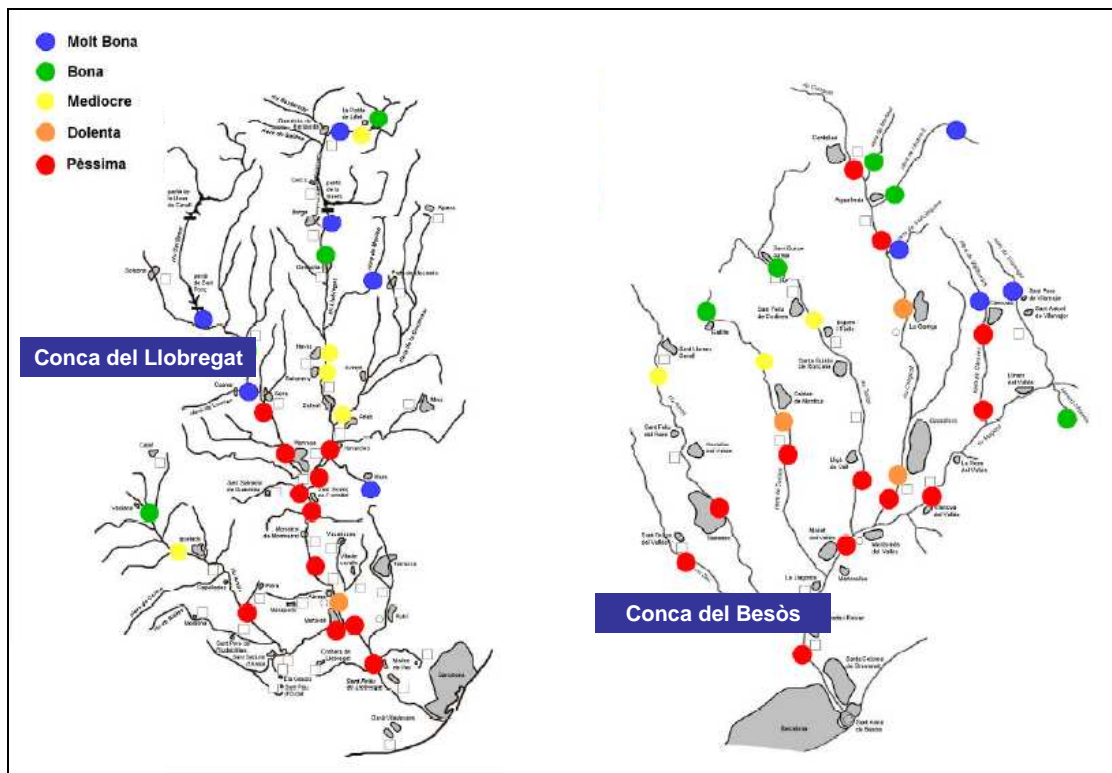
---

El desenvolupament de l'espècie humana sempre ha anat lligat a la disponibilitat d'un recurs essencial: l'aigua. La presència d'aquest recurs, ja sigui de forma subterrània o superficial, ha condicionat, prioritzant-ne la seva proximitat, la ubicació dels assentaments humans. La pressió sobre aquest i altres recursos ha augmentat en la mesura que també ho han fet els nivells d'industrialització, urbanització i creixement de població. La pressió sobre l'aigua es dona a nivell de consum (urbà, agrícola, ramader i industrial), però també a nivell de contaminació, i la lògica proximitat de l'usuari al recurs ha fet que, moltes vegades, el medi on es troba l'aigua sigui, al mateix temps, font d'abastament i destinació final de les aigües residuals generades. Aquest fet ha portat al desenvolupament de tecnologies de depuració de l'aigua residual generada i de potabilització de l'aigua de consum humà. En els darrers anys les tecnologies de tractament de les aigües residuals s'han millorat i generalitzat en la major part del territori dels països desenvolupats. Aquesta generalització no només es deu a la necessitat de disposar d'un recurs de consum en òptimes condicions. També respon a altres factors, sobretot pel que fa a les aigües superficials:

- Sanitaris: reduir l'abocament d'agents patògens, metalls pesats o altres compostos tòxics, continguts en les aigües residuals.
- Ecològics: preservar els ecosistemes aquàtics com a un dels ambients amb una diversitat d'espècies més elevada.
- D'ús sense consum: disposar d'un espai on es puguin compaginar altres activitats de lleure (bany, pesca, esports aquàtics, etc.).
- Paisatgístics: garantir la qualitat visual dels medis naturals més propers a les ciutats.

No obstant, els nivells de depuració no són sempre els òptims i, en alguns casos, s'aboquen aigües residuals sense la qualitat necessària per satisfer els usos abans esmentats. Això es deu a que moltes de les instal·lacions de tractament actuals no poden assumir les condicions canviants a les que estan sotmeses: augments i variacions estacionals de població, noves connexions industrials, abocaments incontrolats, etc. A escala de Catalunya la major part de la població es concentra en la franja costera i és aquí on un dels medis receptors de les aigües residuals, el riu, es veu més afectat. La gran majoria dels rius catalans segueixen un patró semblant: una bona qualitat de l'aigua a la capçalera, que es va empobrint aigües avall, fins a arribar als trams baixos on la qualitat de l'aigua és més dolenta (Figura 1.1).

La qualitat de l'aigua dels rius es pot mesurar a partir de paràmetres fisico-químics, com la concentració d'amoní o l'oxigen dissolt, però també a partir de paràmetres ecològics, com la diversitat de macroinvertebrats. Ambdós tipologies de mesures estan fortament lligades, ja que les concentracions d'alguns dels paràmetres fisico-químics determinen la presència d'organismes als rius. En la Figura 1.1 es presenten els mapes de les conques del Llobregat i el Besòs, indicant la qualitat de l'aigua segons l'índex *Ecostrimed*. Aquest és un índex ecològic integrat, que valora la qualitat de l'aigua segons la diversitat de macroinvertebrats i, en menor mesura, del bosc de ribera (Prat *et al.*, 2002).



**Figura 1.1.** Qualitat ecològica de les conques del Llobregat i el Besòs, segons l'índex *Ecostrimed* (Prat *et al.*, 2002).

La qualitat de l'aigua del riu és un reflex de la pressió humana a la que aquests estan sotmesos i del nivell de tractament que reben les aigües residuals en cada zona. Queda clar, doncs, que la pressió exercida en els trams baixos dels rius és molt superior a la capacitat d'autodepuració del medi. A partir d'aquestes consideracions es planteja la necessitat d'introduir altres conceptes, metodologies i tècniques que permetin minimitzar la pressió sobre el medi receptor.

D'altra banda, també existeix un escenari en el qual les instal·lacions de tractament aconseguen depurar suficientment les aigües residuals, de forma que, la qualitat de l'aigua dels rius, que abans havia estat molt baixa, s'ha recuperat. En aquest escenari es dona la circumstància que la xarxa hidrogràfica, que té una bona qualitat ecològica, travessa zones on els usos del sòl són urbans, industrials, agrícoles o ramaders i les activitats desenvolupades tenen un gran potencial de contaminació. D'aquesta forma, la recuperació de la qualitat de l'aigua del riu provoca que aquest sigui molt més vulnerable als possibles episodis de contaminació accidentals (Beck, 2005). En aquest tipus de situacions cal introduir eines que augmentin la fiabilitat de les infraestructures de sanejament, de forma que el potencial de contaminació de les activitats en qüestió no esdevingui real.

## **1.1. Sistema de sanejament d'aigües residuals urbanes**

El sistema de sanejament d'aigües residuals urbanes està format per la xarxa de clavegueram i les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR). El seu objectiu principal és el d'evitar l'empobriment de la qualitat de l'aigua del medi receptor, en aquest cas, el riu. La majoria dels sistemes de sanejament d'aigües residuals estan formats per un sistema de clavegueram, que rep, a través d'una xarxa de canonades, les aigües residuals urbanes i industrials. La xarxa de canonades conflueix en els col·lectors principals, que transporten l'aigua residual cap a l'EDAR, on les aigües són tractades i abocades posteriorment al riu.

### **1.1.1. Els sistemes de clavegueram**

Un sistema de clavegueram està format per un conjunt de canonades i obres especials que vehiculen l'aigua residual generada en les ciutats cap un sistema de tractament. L'aigua residual recollida pel clavegueram pot tenir origen domèstic, industrial i agrícola (aigües negres), o origen pluvial, quan les precipitacions entren al sistema de clavegueram per escorrentia (aigües blanques). El sistema s'anomena separatiu o unitari, en funció de si el sistema té una xarxa de canonades alternativa per recollir les aigües d'escorrentia o de si recull amb una sola xarxa totes les aigües de forma conjunta (Hernández, 1992). Els elements principals que formen un sistema de clavegueram són:

**Canonades.** Es dimensionen segons el cabal d'aigua que es preveu que han de recollir. La majoria es construeixen amb un diàmetre que entra dins del rang 15-150 cm. Les de diàmetre més petit, les escomeses particulars, recullen les aigües residuals dels edificis caps a les canonades laterals o secundàries. Les canonades laterals recullen les aigües de diferents blocs d'edificis cap a les canonades o escomeses principals que, finalment, envien l'aigua cap als col·lectors. Els col·lectors o interceptors són les canonades amb un diàmetre més gran i transporten l'aigua cap a l'EDAR. Depenent dels estudis de capacitat, corrosió, elasticitat i pressió a les que les canonades han d'estar sotmeses, s'utilitzen uns materials de construcció o uns altres. Els més comuns són: fibrociment, fundició dúctil, formigó armat, formigó pretensat, gres, clorur de polivinil (PVC), polietilè i polipropilè (Tchobanoglous, 1994).

**Pous de registre.** Els pous de registres són punts d'accés, des de la superfície a les canonades. Es solen construir en punts de canvis de pendent, corbes tancades i altres llocs (dipòsits, cambres de neteja, sobreexidors, etc.) on es fa necessari habilitar un accés a la canonada. La seva funció és la de facilitar les tasques de neteja i inspecció del sistema de clavegueram. En la Figura 1.2 es presenta una secció transversal d'un pou de registre circular de dimensions mitjanes.

**Embornals.** Punts d'accés de l'aigua de pluja a les canonades. Es situen normalment entre voreres i carrers, i en punts de mínima alçada per facilitar l'entrada de l'aigua. En la Figura 1.2 es presenta un esquema d'un embornal situat a peu de vorera.

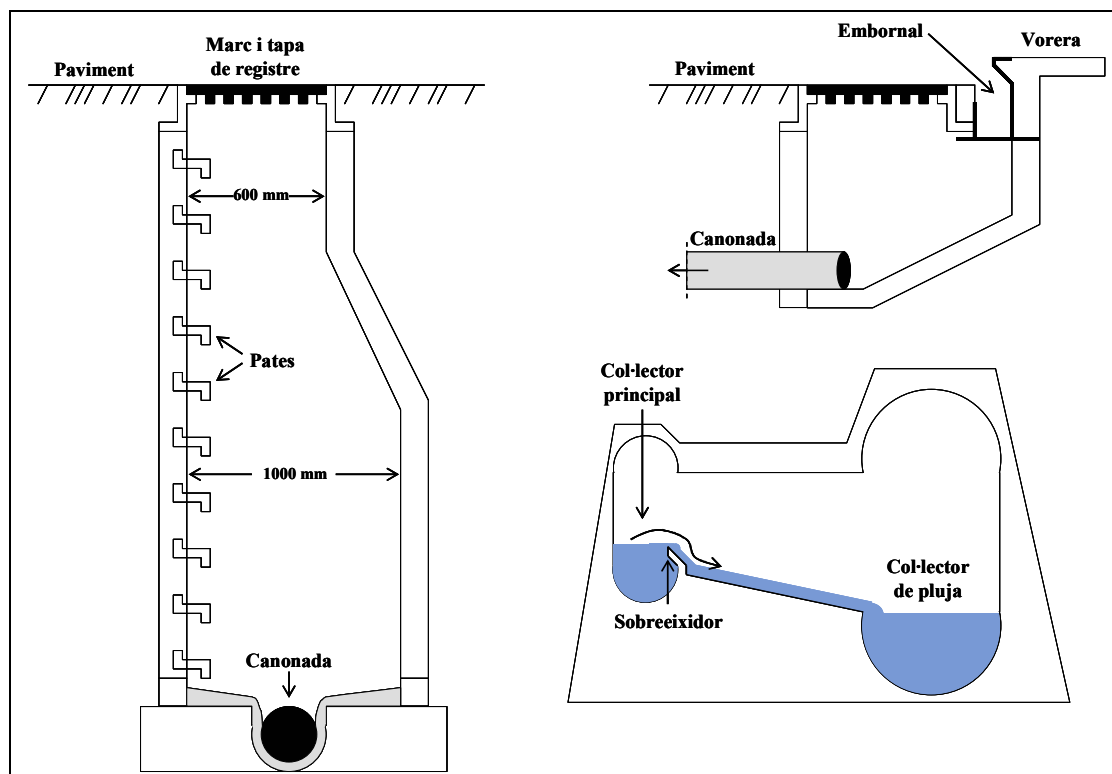
**Cambres de regulació.** Estructures amb dispositius per limitar el cabal d'entrada a determinades canonades, per evitar que entrin en càrrega. El cabal en excés es derivat cap a una altra canonada.

**Sobreexidors.** Són estructures construïdes per limitar el cabal que circula pel sistema de clavegueram, evitant així la saturació d'aquest. A nivell hidràulic, la seva funció és especialment útil en els sistemes unitaris, ja que les canonades no es dimensionen per suportar grans cabals de pluja. D'aquesta forma, quan es supera el cabal límit dimensionat, l'aigua en excés es eliminada fora de la xarxa cap a un punt d'evacuació sense tractament o cap a un dipòsit de retenció. Una forma comuna de construir un sobreexidor és obrint un tram de canonada. En aquest tram es limita una de les parets laterals fins a una alçada determinada, a partir de la qual l'aigua vessarà cap a una altra canonada situada en un nivell inferior. En la Figura 1.2 es presenta una secció transversal d'un sobreexidor de paret lateral.

Una de les preocupacions més grans del gestors dels sistemes de sanejament és la d'intentar reduir al màxim aquests sobreiximents, ja que les aigües evacuades no han sofert cap tipus de tractament i poden provocar disminucions considerables en la qualitat de l'aigua del medi receptor. Les circumstàncies més desfavorables es produeixen quan les precipitacions no són suficientment intenses perquè l'efecte de dilució sigui predominant, però si que arriben a provocar l'actuació dels sobreixidors.

**Dipòsits de retenció.** Són estructures que tenen la capacitat de retenir l'aigua que circula pel sistema de clavegueram. Poden tenir diferents funcions:

- Laminar el cabal d'entrada a les EDAR: retenint aigua en els moments de màxima producció d'aigua residual i augmentant la descàrrega en els moments de mínima producció.
- Retenir episodis de contaminació puntuals: descarregant-los de forma controlada per disminuir l'impacte sobre les EDAR i el riu.
- Disminuir l'acció dels sobreixidors en temps de pluja: retenint el pic de cabal produït per les precipitacions i descarregant-lo, de forma controlada, en temps sec.



**Figura 1.2.** Elements del clavegueram: pou de registre (esquerra), embornal (dalt a la dreta) i sobreixidor lateral (baix a la dreta).



### 1.1.2. Les Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDAR)

En les EDAR es tracten les aigües residuals, abans de ser abocades al medi. Depenent del cabal mitjà a tractar, característiques de l'aigua, condicions climàtiques, nivell de depuració que es vol aconseguir, pressupost i altres factors, es determina quin tipus d'EDAR s'ha de construir. A continuació s'expliquen els diferents tractaments que s'apliquen a l'aigua residual en una instal·lació amb un tractament secundari de fangs activats, com les dues EDAR que són objecte d'estudi d'aquesta tesi.

En la Figura 1.3 es presenta un esquema del camí que segueix la línia d'aigües en una instal·lació d'aquestes característiques.

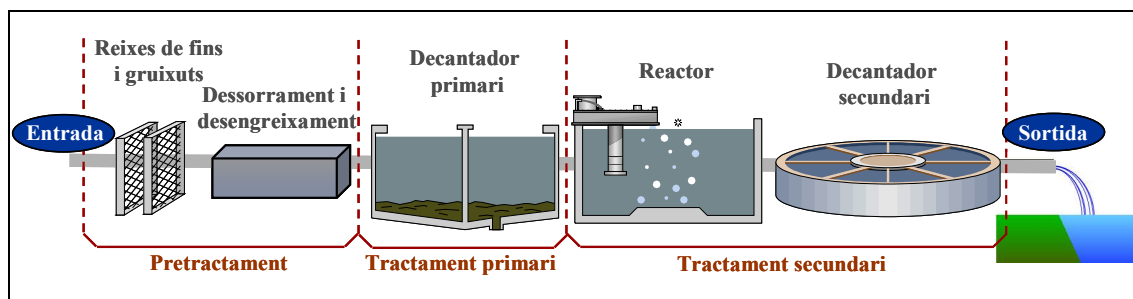


Figura 1.3. Esquema de la línia d'aigües.

#### Pretractament

Les EDAR tenen a l'inici de la línia d'aigües una sèrie d'equipaments que s'encarreguen d'eliminar materials que podrien malmetre la maquinària de la planta i/o desestabilitzar el procés. El tipus de material i substàncies eliminades en aquesta fase inclou restes vegetals, greixos, plàstics, escumes, tòxics, sòlids grollers i similars. Els elements de pretractament més utilitzats són els pous de gruixuts, les reixes de gruixuts i de fins i les unitats de dessorrament i desengreixament.

#### Tractament primari

La següent fase inclou l'eliminació de gran part de les partícules en suspensió. Es solen utilitzar uns tancs anomenats decantadors, amb unes dimensions suficientment grans perquè la velocitat de l'aigua disminueixi i es pugui donar el procés de sedimentació/clarificació. Una vegada finalitzat aquest procés, l'aigua s'envia cap al tractament secundari. En aquest punt també es sol incloure un sobreexidor, que limita el cabal d'entrada al tractament secundari en temps de pluja, abocant el cabal en excés, sense el tractament complet, cap al medi receptor.

### Tractament secundari

En aquesta fase l'aigua arriba cap als reactors biològics. En aquests reactors s'intenten mantenir unes poblacions estables de microorganismes que, en presència d'oxigen, eliminen la matèria orgànica biodegradable dissolta a l'aigua. L'oxigen s'introdueix al reactor artificialment, mitjançant difusors d'aire situats al fons del reactor o amb rotors o turbines mecàniques que produeixen turbulències per incorporar l'aire atmosfèric i agitació per mantenir una bona barreja entre els cultiu de microorganismes i l'aigua residual a depurar. Quan també es volen eliminar biològicament els continguts de nutrients (nitrogen i fòsfor), els reactors s'han d'ampliar o habilitar per a establir les condicions d'aeració adequades perquè s'hi puguin desenvolupar diferents microorganismes capaços d'eliminar aquests nutrients. Si el procés està ben controlat, els microorganismes formen flòculs de forma que poden ser fàcilment separats per sedimentació, en un altre tanc (decantador secundari) que s'afegeix al final de la línia d'aigües.

### **1.1.3. Problemàtiques en la gestió del sistema de sanejament**

Un sistema de sanejament d'aigües residuals està format per una gran quantitat d'elements amb funcions diverses. Cadascun d'aquests elements ha de ser gestionat de forma adequada, per garantir el correcte funcionament del sistema general, ja que qualsevol pertorbació que afecti a una part del sistema pot produir-hi conseqüències aigües avall o aigües amunt. Per una gestió adequada d'un sistema de sanejament, s'han de tenir coneixements de les problemàtiques més freqüents o importants que s'hi puguin donar, per poder afrontar-les amb millors condicions.

El disseny del sistema de sanejament es fa en base a uns càlculs estimatius que aporten els valors mitjans dels cabals i càrregues contaminants que aquest haurà de suportar. No obstant, les condicions de gestió del sistema de sanejament són altament variables, de forma que provoquen alteracions respecte als cabals i càrregues contaminants estimades durant el disseny del sistema, donant lloc a problemàtiques que afecten la pròpia gestió. Les causes que provoquen la variabilitat de condicions de gestió es poden classificar en tres grans grups:

- Factors climàtics: règim pluviomètric, temperatura ambiental o vent.
- Factors demogràfics: creixements o disminucions de població lligats a canvis migratoris i canvis de residència estacionals o "de cap de setmana".
- Factors de planificació: variació en el nombre de connexions d'establiments industrials al sistema, en els límits legals d'abocament o en les empreses involucrades en la pròpia gestió del sistema.

També hi ha altres factors que poden donar problemàtiques, com són els accidentals (abocaments incontrolats, destrucció d'instal·lacions per obres, talls de subministrament elèctric, etc.) i els produïts per la degradació de les instal·lacions degut al seu ús i envelliment.

En les Taules 1.1 i 1.2 es presenta una relació de les problemàtiques més freqüents i els seus efectes, que es poden donar al sistema de clavegueram, en funció de si són produïdes per causes externes o de si són imputables a la xarxa (Hernández, 1992).

**Taula 1.1.** Problemàtiques externes.

Problemes	Efectes
Trencament de les canonades per penetració d'arrels, sobrecàrregues excessives, pas de maquinària pesant, obres, excavacions, etc.	Fuites o introduccions d'aigua.
Assentaments de les canonades per construccions properes.	Canvis en pendents i trencaments de connexions o de canonades.
Obstrucció dels pous de registre per utilització d'aquests com a abocadors de substàncies sòlides.	Limitació de l'ús del pou i introducció de sediments a la xarxa de clavegueram.
Interacció de les canonades per proximitat amb altres serveis urbans del subsòl: abastament, gas, electricitat, telefonia, etc.	Talls de subministrament d'alguns dels serveis i disminució de les seccions de treball del clavegueram.
Deteriorament exterior de les canonades per agressivitat del terreny o existència de corrents d'aigua subterrània.	Major possibilitat de trencament de les canonades.
Deteriorament interior de les canonades per productes d'origen industrial abocats a l'aigua o transformacions d'aquests.	Corrosió de la canonada i major possibilitat de trencament.
Deteriorament interior a causa del sulfur d'hidrogen, produït per alguns microorganismes en condicions anaeròbiques, i transformat després a àcid sulfúric, amb presència d'oxigen.	Corrosió de la canonada i major possibilitat de trencament.
Actuació dels sobreeixidors en xarxes unitàries per pluges intenses, pics de cabal o obturació de canonades.	Abocament al medi receptor d'aigua no tractada.
Obturació de canonades per materials arrossegats per escorrentia en condicions de pluja.	Fuites d'aigua, inundacions de superfície o actuació de sobreeixidors.

**Taula 1.2.** Problemàtiques imputables a la xarxa de clavegueram.

Problemes	Efectes
Corrosió dels elements metàl·lics de la xarxa per utilització de materials inadequats, envelliment o mala gestió.	Fallada dels mecanismes on estan situats aquests elements (bombes comportes, pous de registre, etc.).
Entrada en càrrega (a pressió) de les canonades per capacitat de disseny de les canonades insuficient.	Fuites d'aigua cap a l'exterior
Connexions no acoblades entre canonades de seccions diferents o amb angles inadequats per errors en el disseny o construcció.	Sobreelevacions de l'aigua, aigües amunt.
Trams amb pendents inadequades per errors en el disseny o construcció.	Erosió o sedimentació de sòlids, a causa de velocitats de l'aigua excessives o massa baixes.
Connexions inadequades per errors en el disseny o construcció.	Pèrdues o introduccions d'aigua.

En les EDAR, les problemàtiques s'han separat en funció de si es donen al tractament primari o al secundari, diferenciant també aquestes darreres en funció de si tenen un origen biològic o no. En les Taules 1.3, 1.4 i 1.5 es presenta una relació d'aquestes problemàtiques.

**Taula 1.3.** Problemàtiques comuns en el tractament primari (Comas, 2000).

Problema	Descripció
Fang vell	La purga de fangs del decantador primari no es realitza amb la freqüència adequada.
Fang sèptic	Si l'aigua residual ha estat massa temps en dipòsits de retenció, els sòlids sedimenten menys fàcilment.
Fallada del sistema d'eliminació de fangs	Les avaries en aquest sistema impedeixen l'eliminació de fangs al decantador primari i passen al tractament secundari on causen altres pertorbacions.
Obstrucció de bombes o canonades	La línia d'extracció de fangs queda interrompuda.
Baixa eficiència d'eliminació de fangs	La presència de fangs dificulta l'eliminació de fangs primaris.
Alta densitat de fangs primaris	Dificulta el seu tractament en la línia de fangs.
Purga de fangs inadequada	Dificulta l'eliminació de fangs primaris.
Xoc hidràulic	Cabals d'entrada massa elevats dificulten la sedimentació dels sòlids.
Càrregues de sòlids elevades	Dificulten l'eliminació dels sòlids suspesos.
Altres problemes mecànics	Sobreeiximent d'escumes, cabals industrials no tractats, flotació de fangs, bombeig de fangs en excés, etc.

**Taula 1.4.** Problemàtiques comuns d'origen no biològic en el tractament secundari (Comas, 2000).

Problema	Descripció
Escumes blanques	Causades per surfactants no biodegradables.
Sobrecàrregues i xoc orgànic	Provoca una relació aliment/microorganismes massa elevada, que dificulta la capacitat de sedimentació i pot produir absència d'oxigen. Redueix el rendiment d'eliminació de matèria orgànica.
Xoc de nitrogen	Provoca variacions en la relació aliment/microorganismes, que dificulten la capacitat de sedimentació i eliminació dels sòlids. Redueix el rendiment d'eliminació de nitrogen.
Xoc de conductivitat	Pot provocar la inhibició del creixement dels microorganismes.
Tempestes	Produeixen variacions brusques en el cabal i la concentració de sòlids en sistemes unitaris, que afecten a tot el procés.
Xoc hidràulic	Pics de cabal que poden provocar la pèrdua de sòlids.
Baixa càrrega	La relació aliment/microorganismes és massa baixa i produeix variacions en la concentració de sòlids.
Problemes de clarificació	Afavoreixen la pèrdua de sòlids cap al medi receptor.
Problemes mecànics i elèctrics	Talls elèctrics, aeració inadequada, etc.

**Taula 1.5.** Problemàtiques comuns d'origen biològic en el tractament secundari (Comas, 2000).

Problema	Descripció
<i>Bulking</i> filamentós	Es produeix un creixement excessiu de bacteries filamentoses, que dificulten la sedimentació de sòlids.
Producció d'escumes	Es produeix un creixement excessiu de bacteries amb components hidrofòbics, que formen escumes i afavoreixen la pèrdua de biomassa.
Desfloculació	Les característiques dels floculs no són les adequades per formar floculs que sedimentin bé.
<i>Bulking</i> viscos	Els microorganismes produeixen una substància gelatinosa que, en excés, dificulta la sedimentació de sòlids.
Xoc tòxic	Introducció de substàncies que poden inhibir el creixement dels microorganismes.
Nitrificació ( $\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_x^-$ ) / desnitrificació ( $\text{NO}_x^- \rightarrow \text{N}_2$ ) (problemes de <i>rising</i> )	Pèrdua de la capacitat de nitrificació. Desnitrificació en el decantador secundari, produint una adhesió del $\text{N}_2$ gas als floculs, que dificulta la seva sedimentació i pot provocar escapaments de sòlids.

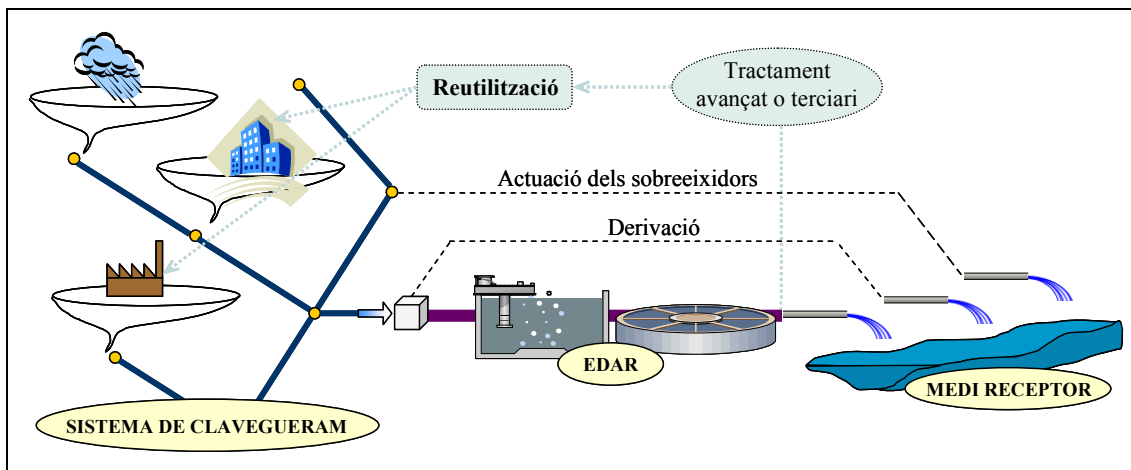
### 1.1.4. Relacions entre el sistema de sanejament i el medi receptor

Quan es consideren el sistema de sanejament i el medi receptor de forma conjunta s'han d'establir les relacions entre aquests. En un sistema complet, com el que s'està descrivint, el principal camí que segueix l'aigua residual generada és el que marquen les instal·lacions de sanejament, de forma que l'aigua pot arribar al medi receptor en una qualitat acceptable per ser

abocada. No obstant, també es donen circumstàncies, tal i com s'ha esmentat abans, en les quals l'aigua es abocada al medi sense el tractament complert: quan els sobreexidors del sistema de clavegueram actuen per no sobrecarregar la xarxa i aboquen directament a riu, i quan l'EDAR arriba al límit de la seva capacitat i el cabal en excés també es derivat cap al riu, sense passar per tot el procés de depuració.

També existeixen alternatives a l'abocament de l'aigua tractada al medi receptor: després del tractament secundari d'una EDAR convencional, es poden aplicar tractaments avançats de forma que l'aigua pugui ser reutilitzada. Existeix una gran quantitat de tècniques aplicables dins del camp del tractament avançat o terciari, que es poden agrupar en 4 categories: tècniques de filtració, d'adsorció amb carbó actiu, de processos de membrana i de desinfecció. La tècnica o conjunt de tècniques utilitzades, es tria en funció de l'ús que es vol donar a l'aigua reutilitzada: reg de parcs i jardins urbans, extinció de focs, construcció, reg agrícola, recàrrega d'aqüífers, usos industrials, usos recreatius o, fins i tot, el consum directe, després d'un procés de potabilització (Mujeriego i Asano, 1999).

En la Figura 1.4 es presenten els camins principals que pot seguir l'aigua residual fins arribar al medi receptor.



**Figura 1.4.** Esquema del sistema de sanejament d'aigües residuals.

Aquest esquema es divideix en tres elements que, tradicionalment, s'han dissenyat (en el cas del clavegueram i EDAR), gestionat o modelitzat de forma aïllada, sense tenir en compte mecanismes de retroalimentació entre ells (Butler i Schütze, 2005). Un dels objectius d'aquesta tesi és el de discutir si aquesta forma de gestionar el conjunt del sistema és la més adequada o, si per contra, una gestió integral de tots els elements resultaria més eficient.

## 1.2. La Directiva Marc de l'Aigua

La legislació europea en matèria d'aigües comença, en una primera fase, l'any 1975, amb nivells de qualitat per als rius i llacs dels quals s'extreu aigua de boca, objectius de qualitat per a aigües de pesca, de bany i aigües subterrànies, i culmina al 1980 establint límits de qualitat per a les aigües de consum humà. En una segona fase s'estableixen normatives sobre les aigües residuals urbanes i agrícoles: al 1991 s'adopten la Directiva de Nitrats, que regula la producció de nitrats de l'agricultura, i la Directiva 91/271/CE del Consell, de 21 de Maig de 1991, sobre el tractament de les aigües residuals urbanes. La directiva 91/271 estableix un calendari concret per equipar totes les aglomeracions urbanes que tenen més de 2000 habitants equivalents amb instal·lacions de tractament per a les seves aigües residuals. També estableix nivells concrets de depuració i límits de qualitat per les aigües tractades, abans de ser abocades al medi receptor. En les Taules 1.6 i 1.7 es presenten els requisits d'abocament de les EDAR.

**Taula 1.6.** Requisits per als abocaments procedents d'instal·lacions de tractament d'aigües residuals urbanes.

Paràmetres	Concentració	Percentatge mínim de reducció	Mètode de mesura de referència
Demanda biològica d'oxigen (DBO <sub>5</sub> ) a 20 °C	25 g·m <sup>-3</sup> O <sub>2</sub>	70-90	Mostra homogeneïtzada, sense filtrar ni decantar. Determinació de l'oxigen dissolt abans i després de 5 dies d'incubació a 20°C ± 1°C en completa obscuritat. Inhibició de la nitrificació.
Demanda química d'oxigen (DQO)	125 g·m <sup>-3</sup> O <sub>2</sub>	75	Mostra homogeneïtzada, sense filtrar ni decantar. Dicromat potàssic.
Sòlids en suspensió totals	35 g·m <sup>-3</sup> <sup>(1)</sup>	90 <sup>(1)</sup>	- Filtració d'una mostra representativa a través d'una membrana de filtració de 0,45 micres. Assecat a 105 °C i pesat. - Centrifugació d'una mostra representativa (durant 5 minuts com a mínim, amb una acceleració mitjana de 2.800 a 3.200 g), assecat a 105 °C i pesat.
	60 g·m <sup>-3</sup> <sup>(2)</sup>	70 <sup>(2)</sup>	

<sup>(1)</sup> Més de 10000 habitants equivalents.

<sup>(2)</sup> De 2000 a 10000 habitants equivalents.

**Taula 1.7.** Requisits per als abocaments procedents d'instal·lacions de tractament d'aigües residuals urbanes, realitzats en zones sensibles propenses a l'eutrofització.

Paràmetres	Concentració	Percentatge mínim de reducció	Mètode de mesura de referència
Fòsfor total	1 g·m <sup>-3</sup> P <sup>(1)</sup> 2 g·m <sup>-3</sup> P <sup>(2)</sup>	80	Espectrofotometria d'absorció molecular
Nitrogen total	10 g·m <sup>-3</sup> N <sup>(1)</sup> 15 g·m <sup>-3</sup> N <sup>(2)</sup>	70-80	Espectrofotometria d'absorció molecular

<sup>(1)</sup> Més de 100000 habitants equivalents.

<sup>(2)</sup> De 10000 a 100000 habitants equivalents.

Al 1998 s'adopta la nova Directiva de l'Aigua de consum humà, que revisa els nivells de qualitat de l'aigua de consum humà establerts fins el moment. Finalment, encara dins d'aquesta

segona fase, destaca la Directiva de la prevenció i el control integrats de la contaminació, adoptada al 1996 (Blöch, 1999).

L'any 2000 la Unió Europea planteja una nova política de l'aigua, revisant i replantejant tota la legislació adoptada fins el moment, presentant la Directiva marc 2000/60/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'octubre de 2000, per la que s'estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de política d'aigües. Aquesta directiva es coneix també com la Directiva Marc de l'Aigua (DMA). La DMA considera la gestió de l'aigua des d'un ampli punt de vista, i té com a objectius clau la prevenció de la contaminació en els recursos hídrics i la protecció i millora dels ecosistemes aquàtics. La idea principal darrere la DMA és que els humans poden utilitzar l'aigua mentre la funció ecològica del recurs no sigui danyada significativament (Dworak *et al.*, 2005). Com a objectiu global la DMA coordina les regulacions i les polítiques ambientals de l'aigua a nivell europeu per a:

- aconseguir un “bon estat ecològic” de totes les aigües superficials, subterrànies i de costa cap al 2015;
- prevenir el deteriorament i millorar l'estat dels ecosistemes aquàtics, incloent-hi les aigües subterrànies;
- aconseguir una gestió de l'aigua basada en la conca hidrogràfica com a escala de treball;
- involucrar la societat, directament, en la política d'aigües;
- controlar d'una forma combinada els valors límits d'emissió i els objectius de qualitat;
- promoure l'ús sostenible de l'aigua i reduir la contaminació de l'aigua;
- contribuir a la reducció d'inundacions i sequeres.

### **1.3. Gestió integral de conques**

En els darrers anys la integració ha esdevingut un concepte comú en el camp de la gestió ambiental. En el camp de la gestió de l'aigua es parla de gestió integral de conques. Aquest concepte incorpora d'una forma interconnectada la gestió del sòl, la vegetació i l'aigua, i les seves relacions amb el nostre sistema social i econòmic (Argent, 2004). La gestió integral s'ha d'entendre també de forma interna per a cadascun d'aquests elements (sòl, vegetació i aigua). Així, la gestió de les infraestructures hidràuliques per garantir la qualitat de l'aigua (objecte d'estudi d'aquest treball de recerca) s'ha de plantejar també d'una forma integrada i a escala de conca hidrogràfica.

Una conca hidrogràfica limita un espai terrestre en el qual totes les aigües d'escorrentia superficial flueixen a través de corrents, rius o llacs fins a una sola desembocadura en la mar. En



aquesta definició es sobreentén el concepte de continuïtat de la massa d'aigua a través de la xarxa fluvial, del qual se'n desprèn que qualsevol alteració en un punt de la xarxa tindrà conseqüències aigües avall. Com a conseqüència, resulta lògic pensar que la unitat geomorfològica que delimita una conca hidrogràfica és l'escala de treball més adequada, a l'hora de plantejar estratègies de gestió de les infraestructures hidràuliques. La Directiva Marc de l'Aigua així ho recull quan cita la conca hidrogràfica com a unitat de gestió per sobre les fronteres administratives, fins i tot, estatals.

A nivell de qualitat de l'aigua, la gestió integrada de les infraestructures hidràuliques s'ha convertit, també, en un objectiu a assolir per tots els gestors involucrats. Beck (1976) ja introdueix el concepte de "Sistema de Qualitat de l'Aigua", que engloba quatre subsistemes: la xarxa de distribució, el sistema de clavegueram, les estacions depuradores d'aigües residuals i el riu. No obstant, aquesta idea no s'ha començat a posar en pràctica fins fa relativament poc (a partir dels 90), quan s'han donat les condicions tecnològiques adequades per desenvolupar-la (Butler i Schütze, 2005). Aquestes condicions es poden resumir en tres grups:

- Millora dels sistemes d'informació: a nivell de sistemes d'informació geogràfica, sistemes de control i anàlisi de dades, comunicacions entre sensors i equips informàtics, etc.
- Millora de les eines de simulació: actualitzacions i aparició de nous models informàtics amb la capacitat de simular la qualitat de l'aigua en diferents ambients i situacions.
- Aplicació en els dominis ambientals d'eines d'intel·ligència artificial, amb la capacitat d'introduir el coneixement adquirit pels experts.

A més també existeixen diversos factors de pressió que estan accelerant el procés, com són:

- Legislació: la normativa europea, exemplificada en la Directiva Marc de l'Aigua (2000/60/CE), recalca el paper de la conca hidrogràfica com a unitat d'actuació en la gestió de les aigües, accentua la protecció dels rius i aqüífers a nivell ecològic i aposta pel control combinat dels abocaments i els valors límit de qualitat. Només una gestió integrada en tots els aspectes pot afrontar la línia d'actuació marcada per aquesta directiva.
- Augment de la complexitat i del nombre d'escenaris: l'augment del nombre d'instal·lacions relacionades amb el tractament de les aigües no tan sols repercuteix en una major qualitat de les aigües tractades, sinó que augmenta exponencialment el nombre d'escenaris en els que s'han de prendre decisions. Perquè les decisions preses tinguin resultats òptims, no tan sols en una infraestructura concreta, sinó en el conjunt

del sistema de tractament i tenint en compte el destí final de les aigües tractades, es fa necessària una gestió integrada.

- Pressió social: cada vegada més, la societat exigeix que el seu entorn més proper gaudeixi d'una qualitat màxima, fet que es sol traduir, políticament, en que les administracions destinin més recursos en aquest sentit. Els rius encara són un dels ambients que més transformacions han patit, que necessiten una major recuperació i que són més propers a la societat. Les iniciatives encaminades a garantir la qualitat de les aigües superficials passen per una gestió integrada més eficient de les infraestructures hidràuliques.

Amb aquestes condicions i factors de pressió s'han començat a desenvolupar diferents eines i projectes, l'objectiu final dels quals és facilitar la presa de decisions a nivell de qualitat de l'aigua i a partir d'una gestió integrada de les infraestructures hidràuliques. La principal causa de que fins fa poc no s'hagi treballat en aquest tipus d'eines és la fragmentació administrativa en la gestió i planejament dels sistemes de clavegueram, de les EDAR i del riu (Rauch *et al.*, 2002).

La majoria de les eines que es troben a la literatura utilitzen les nomenclatures Integració de Models (IM), Sistema de Suport a la Decisió Ambiental (SSDA) o Sistema Expert (SE), per referir-se a la utilitat desenvolupada, depenent dels components o mòduls que s'inclouen. Un SSDA és un sistema informàtic que ajuda a una persona a prendre decisions en un determinat domini, mitjançant la selecció justificada d'una o més alternatives (Cortés *et al.*, 2000; Fedra, 2000; Luay, 2001; Comas *et al.*, 2002; Denzer, 2002). En el domini ambiental els SSDA solen utilitzar models per representar l'estat del medi a partir d'una informació limitada i per fer hipòtesis sobre la resposta que aquest dona front a determinades alteracions. En els SSDA, les eines d'intel·ligència artificial (IA), entre les qual s'hi inclouen els SE, incorporen al procés de decisió el coneixement adequat sobre la matèria en qüestió i són capaces d'introduir nou coneixement a partir de les situacions avaluades (Comas *et al.*, 2002).

Aquestes eines es poden agrupar de forma diferent segons si es classifiquen per la seva finalitat (comercial, recerca, aplicació puntual, etc.), per si utilitzen o no models i quin tipus d'integració apliquen (en paral·lel o en sèrie), per quin tipus d'interfície utilitzen (amb o sense Sistema d'Informació Geogràfic, SIG), per si introdueixen coneixement expert o Control en Temps Real (CTR), etc. En la Taula 1.8 es recullen les principals eines analitzades, independentment de la terminologia que s'ha utilitzat per definir-les.

**Taula 1.8.** Eines de suport a la decisió en la gestió de les infraestructures hidràuliques.

Projecte/eina i font bibliogràfica	Eina comercial	Model sistema clavegueram	Model EDARS	Model riu	Altres models	Integració models	GIS	CTR	Sistema Expert Testat en més d'una conca	Particularitats	Objectius
(Camilleri, 2004)		Construït amb MATLAB /Simulink (per pluja)	ASM2d construït amb MATLAB /Simulink	QUAL2E construït amb MATLAB /Simulink		Paral·lel		X	X	Incorpora lògica fuzzy pel control de l'EDAR	Gestió integrada de les operacions de control de la qualitat de l'aigua, optimitzant l'eficiència de les EDAR i el mínim impacte d'aquestes sobre el riu
(Chang i Chang, 2002)				Propi		Sèrie	X		X	SSDA basat en un GIS obert a través d'Internet	Gestió d'episodis de pluja quan hi ha sobreiximent al clavegueram, i gestió de la planificació i usos del sòl en la conca per preservar la qualitat de l'aigua del riu.
(Cianchi <i>et al.</i> , 2000; Cianchi i Marsili-Libelli, 2000)			ASM2	Basat amb cinètica de QUAL2E		Sèrie	X	X	X	SSDA basat en agents, obert a través d'Internet	Gestió de les operacions de control del sistema a través del web.
<b>Elbe-DSS</b> (Berlekamp, 2004)				GREAT-ER	MONERIS (producció de nutrients)	Sèrie	X		X	SSDA basat en escenaris.	Valoració de l'impacte de les mesures de gestió preses en la conca (usos del sòl, canvis en eficiència EDAR, etc.) sobre la qualitat de l'aigua del riu.
(Frehmann <i>et al.</i> , 2002)		SIMBA sewer	SIMBA	Aquasim	MOSI (escorrentia)	Paral·lel		X			Minimització dels abocaments dels sobreixidors del sistema de clavegueram. Optimització del CTR per garantir la qualitat de l'aigua del riu.
<b>ICS</b> (Clifforde <i>et al.</i> , 1999; Taylor <i>et al.</i> , 2000; Tomicic <i>et al.</i> , 2001)	X	Mouse	Stoat	Mike11		Paral·lel	X	X		X	Gestió integrada de les operacions de control de la qualitat de l'aigua a nivell de conca.
<b>ISM</b> (Schroeder i Gommery, 2002; Schroeder i Pawlowsky-Reusing, 2004)		Infoworks CS	SIMBA basat en ASM1			Sèrie	X	X			Minimització dels abocaments dels sobreixidors del sistema de clavegueram. Optimització del CTR per garantir la qualitat de l'aigua del riu.
<b>SEWSYS</b> (Ahlman i Svensson, 2002)		Propi construït amb MATLAB/Simulink	Propi basat amb ORWARE			Sèrie					Modelització de fins a 21 substàncies contaminants (incloent-hi metalls pesats) en el sistema urbà.

Continuació Taula 1.8. Eines de suport a la decisió en la gestió de les infraestructures hidràuliques.

Projecte/eina i font bibliogràfica	Eina comercial	Model sistema clavegueram	Model EDARS	Model riu	Altres models	Integració models	GIS	CTR	Sistema expert Testat en més d'una conca	Particularitats	Objectius
<b>SIMBA</b> (Erbe <i>et al.</i> , 2002)	X	SIMBA sewer	SIMBA	RWQM 1 implementat en SIMBA sewer	PLASKI (producció d'aigua residual)	Paral·lel		X	X		Gestió integrada de les operacions de control de la qualitat de l'aigua. Optimització del CTR per garantir la qualitat de l'aigua del riu.
<b>Synopsis</b> (Butler i Schütze, 2005)		Kosim	Simplificació ASM1	Duflow		Paral·lel (riu en sèrie)		X	X		Gestió integrada de les operacions de control de la qualitat de l'aigua. Optimització del CTR per garantir la qualitat de l'aigua del riu.
(Vanrolleghem <i>et al.</i> , 2005)		Infoworks CS, Kosim i West	ASM2	Propi		Paral·lel		X		Simplificació dels models	Gestió integrada de les operacions de control de la qualitat de l'aigua utilitzant simplificacions dels models convencionals. Optimització del CTR per garantir la qualitat de l'aigua del riu.
<b>WaterWare</b> (Fedra i Jamieson, 1995)	X			Propi	Escorrentia. Demanda d'irrigació. Assignació de càrregues d'aigües residuals.	Sèrie	X		X	SSDA basat en objectes, accessible a través d'Internet.	Determinació de les alternatives de tractament de l'aigua adequades tenint en compte factors econòmics i de qualitat de l'aigua.
<b>WEST</b> (Meirlaen <i>et al.</i> , 2002)	X	Kosim simplificat i implementat dins WEST	WEST	RWQM1 simplificat i implementat dins WEST		Paral·lel		X	X		Gestió integrada de les operacions de control de la qualitat de l'aigua. Optimització del CTR per garantir la qualitat de l'aigua del riu.
(Willems, 2003)		Infoworks CS i model simplificat	Model empíric propi	MIKE 11 i model simplificat	Escorrentia. SENTWA (Contaminació agrícola)	Paral·lel		X	X	Simplificació dels models	Gestió integrada de les operacions de control de la qualitat de l'aigua utilitzant simplificacions dels models convencionals.
<b>WPC-ES</b> (Cheng, 2003)				QUAL2E	Producció i pèrdua de contaminants de l'aigua	Sèrie	X		X	SSDA	Valoració (a nivell econòmic, social i ambiental) de les actuacions que afecten la qualitat de l'aigua del riu.

Les eines analitzades es poden dividir en dos grans subgrups. En el primer es troben les eines basades en un conjunt de models per als tres subsistemes, i el seu objectiu és el de gestionar de forma integrada les operacions de control, garantint una qualitat de l'aigua del medi receptor. En el segon s'agrupen les que no sempre utilitzen models descriptius per als tres subsistemes, i es basen més en la planificació de les infraestructures o en avaluacions d'alternatives de tractament.

La majoria de les eines són fruit de col·laboracions entre universitats i empreses o administracions. Algunes tenen sortida comercial, tot i que estan en continua revisió per poder adaptar els programes informàtics desenvolupats a la gran diversitat de conques existents. Les variabilitats d'escala, nivell d'equipaments tecnològics, climatologia, hidrografia, etc. dificulten la versatilitat d'aquestes eines. Un signe evident d'aquestes dificultats és que alguns dels programes comercials són oberts, és a dir, permeten la interacció d'usuaris experts amb el programa, per poder adaptar-lo a les condicions del sistema on s'ha d'aplicar. Així, en el cas de WEST (DHI *Software*, 2005) el codi final de programació és accessible a través d'una aplicació similar a la del llenguatge de programació C/C++, anomenada *Modelling Simulations Language* (MSL) i en el cas de SIMBA (IFAK, 2005), està organitzat amb llibreries que tenen un format obert i admeten modificacions (Camilleri, 2004).

En alguns dels projectes o eines estudiades s'han creat models propis, però la majoria utilitzen programes comercials per a construir els models de cada subsistema.

A l'hora d'integrar els models, que per separat simulen la realitat dels tres sistemes físics (sistema de clavegueram, EDAR i riu), es poden seguir dues vies. La integració en sèrie o seqüencial i la integració en paral·lel o simultània. En la integració en sèrie es fan simulacions successives des del sistema que està aigües amunt fins al que està aigües avall, de forma que els *outputs* d'un model serveixen d'*inputs* per al següent. En la majoria dels casos, aquest és el camí que segueix el flux de l'aigua en el conjunt del sistema. Tanmateix, també es poden donar processos de retroalimentació entre els subsistemes. En la integració en paral·lel es fan simulacions simultànies, en les quals el temps d'inferència és el mateix per als tres models i per a cada inferència els càlculs es fan simultàniament, de forma que cap la possibilitat d'interacció en doble sentit entre els models. Alguns autors Erbe *et al.* (2002), Meirlaen *et al.* (2002) i Butler i Schütze (2005) recomanen la integració en paral·lel per poder simular processos de retroalimentació entre els tres sistemes (Ex: retorn de fangs cap a l'EDAR o el clavegueram). No obstant, la integració simultània és molt més complexa i es pot obviar depenent dels objectius del projecte i estudiant si aquest tipus de processos tenen lloc en el sistema analitzat (Rauch *et al.*, 2002). En canvi, si l'objectiu de la eina és la del CTR basat en la qualitat de

L'aigua del riu, és necessària una integració en paral·lel, on per a cada temps d'inferència es pot comparar la qualitat (simulada i real) de l'aigua del riu, determinant així quina és la millor estratègia de control (Vanrolleghem *et al.*, 2005).

En la gestió de la qualitat de l'aigua a nivell de conca, gran part de la informació que s'ha de tractar està vinculada a un context espacial, fet que fa que l'ús dels SIG esdevingui necessari i s'hagi d'integrar com un element més dins les eines de modelització dels sistemes integrats (Rauch *et al.*, 2002). La majoria de les eines analitzades que incorporen un SIG tenen objectius relacionats amb la gestió del riu a nivell de planificació. Són eines que només incorporen models de riu, no entren en el detall dels processos que hi tenen lloc als sistemes de clavegueram i EDAR, i solen considerar aspectes, com els usos del sòl o els factors econòmics i socials, dins el seu procés de decisió. En canvi, les eines que centren el seu objectiu en una integració dels tres subsistemes, utilitzen models basats en programes, que sí que tenen opcions gràfiques per visualitzar alguns dels aspectes modelitzats, però que, en cap cas, es poden valorar com a SIG. En són una excepció aquelles eines que utilitzen models com MOUSE i MIKE 11 (DHI Software, 2005) o InfoWorks CS i InfoWorks RS (Wallingford Software, 2005). Aquests models tenen la capacitat d'incorporar diferents capes d'informació geogràfica amb eines d'anàlisi georeferenciada, com els SIG convencionals. També solen tenir connexió directa a altres SIG externs com ArcView (ESRI, 2005).

El CTR es pot aplicar en el sistema de clavegueram o en la EDAR amb diferents objectius: minimitzar els abocaments dels sobreixidors del clavegueram al riu, garantir un mínim cabal d'abocament de les EDAR a riu, retenció en dipòsits o dilució d'episodis contaminants, laminació de cabals, etc.

Vanrolleghem *et al.* (2005) distingeix tres tipus de CTR:

- CTR basat en el volum: es designa una estratègia mitjançant, l'emmagatzematge o el tractament, per minimitzar els abocaments d'aigua no tractada al riu.
- CTR basat en els contaminants: l'estratègia, a través del emmagatzematge de les aigües més contaminades i la posterior dilució d'aquestes, és la de minimitzar la quantitat de contaminants abocats al riu.
- CTR basat en la immissió: tracta d'optimitzar directament la qualitat de l'aigua del riu, la informació que s'obté dels sensors del riu és la que determina quines tipus de manipulació s'ha de fer (bombes, desviaments de cabal, etc.).

Moltes de les eines analitzades contempnen el CTR com a objectiu, però no a nivell directe. No és la eina desenvolupada la que fa de sistema supervisor, rep les senyals dels sensors i envia les ordres corresponents, sinó que s'utilitza com a eina de planificació. D'aquesta manera, el sistema de models integrats serveix per dissenyar diferents estratègies de control i per decidir quina és l'estratègia òptima que actuarà millor sobre la situació analitzada, i que posteriorment s'implementarà en el sistema real.

Butler i Schütze (2005) distingeixen entre control *on-line* i *off-line*. En el control *on-line*, per a cada inferència, s'avaluen totes les decisions de control possible amb l'ajuda de les prediccions dels models. Aquest tipus de control, necessita d'una descripció acurada dels processos que hi tenen lloc i, al mateix temps, d'una simplificació extrema dels temps de computació dels models. En sistemes integrats, sembla que aquestes dificultats fan pràcticament inviable aquesta opció. En canvi, en el control *off-line* es proposa la utilització d'un conjunt de regles o un arbre de decisió preestablert, que determini quina és la millor opció de control per a cada situació.

La utilització de SE incorpora, a la eina desenvolupada, accés al coneixement expert. La utilització de coneixement expert, junt amb l'ús dels models, fa que el procés de decisió tingui uns fonaments més estables. D'entre les eines analitzades que utilitzen models per als tres subsistemes, només dues incorporen tècniques d'intel·ligència artificial. Camilleri (2004) hi integra un sistema de control fuzzy en l'EDAR i Butler i Schütze (2005) incorporen un algoritme de control, descrit per una sèrie de regles que incorporen coneixement expert.

Algunes eines aporten particularitats interessants com les opcions de control i gestió a través d'Internet, característiques importants en la mesura que faciliten l'accés al control del sistema des de qualsevol punt, agilitzant així el procés de decisió.

La majoria d'autors reconeixen el mateix tipus de problemàtiques durant la construcció de les eines analitzades:

- Escalles de temps diferents: els models de clavegueram, de les EDAR i del riu solen treballar amb temps d'inferència diferents, adequats als processos que es volen simular en cada subsistema (rentat de sòlids al sistema de clavegueram, nitrificació a l'EDAR, cicle diari del oxigen al riu, etc.). Els temps de simulació final també solen ser diferents quan s'utilitzen els models individualment, amb un rang considerable de variació [hores-mesos], segons l'objectiu de la simulació (CTR, calibració, valoració de l'efecte d'una pertorbació, etc.).

- Adaptació de variables: tradicionalment la modelització de cada subsistema ha utilitzat variables diferents per a representar els processos que hi tenen lloc. L'exemple més clar és el de la matèria orgànica. Així, els models de rius i de clavegueram solen estar basats en la DBO, ja que la component biodegradable té més pes en aquests subsistemes, mentre que els models d'EDAR solen utilitzar la DQO.
- Traspàs de dades entre programes: la utilització de programes diferents per a la modelització de cada subsistema fa inevitable l'ús d'interfícies que facilitin la transferència d'informació entre models, fet, que encara es veu més agreujat quan els programes són de cases comercials diferents i, per tant, utilitzen diferents unitats o formats per a les dades d'entrada i de sortida.
- Calibració: la calibració d'un model de forma individual requereix l'ús de campanyes de mesura, que moltes vegades eleven els costos dels projectes a nivells inassolibles. Quan aquesta calibració es planteja de forma integrada amb els tres models, s'ha d'afegir una segona fase, en la qual es calibra el funcionament global del sistema. Tot i que el nivell de calibració de cada model dependrà dels objectius del projecte, es fa necessari l'ús de tècniques que minimitzin els seus costos (utilització de models simplificats, disseny òptim de les campanyes de mostreig, etc.).
- Incertesa: en la modelització del clavegueram, de les EDAR i del riu, tradicionalment s'han utilitzat models deterministes. Per a descriure detalladament els processos vinculats, aquest tipus de models utilitzen un elevat nombre de paràmetres, fet que dificulta la seva calibració i obliga a optar per la via més pragmàtica d'utilitzar valors per defecte i ajustar solament uns quants paràmetres clau (Rauch *et al.*, 2002). D'aquesta forma, els resultats dels models sempre tenen un marge d'error respecte a la realitat. Aquesta incertesa del model es propaga a través d'un conjunt de models integrats, en la mesura que models successius utilitzin com a dades d'entrada les dades produïdes pel model anterior. A més, és inevitable afegir un altre grau d'incertesa quan es simulen escenaris de situació, ja que una calibració feta amb unes condicions determinades no necessàriament ha de significar un ajustament del model a unes condicions canviants. Les eines analitzades no incorporen anàlisis d'incertesa dels resultats dels models.
- Complexitat dels models: el nivell de complexitat dels models està determinat per els objectius de l'eina a desenvolupar. Per exemple, si l'objectiu de l'eina és valorar l'impacte de l'amoni al riu, es requereix una simulació hidrodinàmica acurada del sistema de clavegueram, ja que els pics d'amoni solen ser produïts pels abocaments dels sobreeixidors quan, en temps de pluja, coincideix el primer rentat de l'escorrentia urbana (més ràpid que el de l'escorrentia en conques naturals) amb el mínim cabal al riu (Rauch *et al.*, 2002). A més, el nivell de complexitat dels models és un dels factors



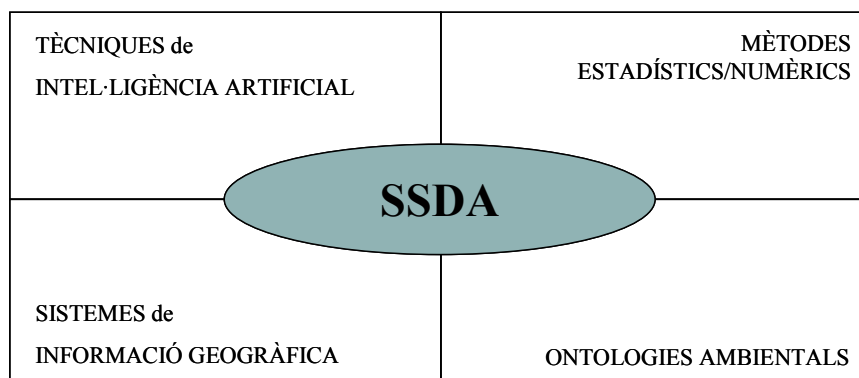
limitants del temps de simulació. Així, si l'ús final de l'eina ha de ser el del CTR, amb la necessitat d'obtenir simulacions/prediccions amb un temps molt reduït, es necessiten models simplificats que sacrificuin la precisió per la immediatesa dels resultats.

En aquest treball es presenta una eina en la que s'incorporen models de qualitat de l'aigua per al clavegueram, EDAR i riu. Algunes de les problemàtiques esmentades anteriorment s'han solucionat. Els tres models s'han pogut integrar respecte als temps de simulació i les variables considerades. A més, per transferir els resultats de simulació entre els models, s'ha construït un programa específic. Aquest sistema de models s'utilitzarà per generar coneixement i estratègies de control que s'implementaran posteriorment pel CTR del SSDA. Els models seleccionats també són suficientment complexos per simular els processos objectiu d'aquest projecte, com l'actuació dels sobreeixidors del clavegueram i la seva influència en la qualitat de l'aigua del riu. No obstant, no s'ha realitzat una calibració global del sistema ni una anàlisi d'incertesa, ja que s'ha considerat que no eren necessàries, donats els objectius del projecte. En el capítol 3 es presenten els detalls de la implementació i integració dels models.

Una de les conclusions més clares que s'extreu de l'anàlisi de les eines és que, actualment, el camp de la gestió integrada de la qualitat de l'aigua es troba en una fase de transició. Existeixen diferents línies d'investigació, cadascuna de les quals aposta per uns objectius concrets, però és obvi que han d'acabar convergint en un tipus d'eina, més o menys generalista, que es pugui adaptar a diferents situacions geogràfiques, a diferents escales i a diferents condicions. En cas contrari, la utilització d'aquestes eines quedaria restringida als projectes de recerca locals, sense perspectives d'una projecció més àmplia. No obstant, també és lògic que els objectius d'aquesta eina estiguin consensuats per tots els actors involucrats en la gestió de la qualitat de l'aigua. Objectius dispersos o massa ambiciosos farien que el nombre de paràmetres a tenir en compte en el desenvolupament de l'eina fos inabastable. Alguns dels objectius, que actualment contempen la majoria d'eines analitzades, i que sembla que podrien ser els més consensuats són: el control dels sobreeiximents de xarxa unitària, la gestió basada en la qualitat del medi receptor, el CTR, la regulació dels episodis de contaminació o la planificació de noves infraestructures. Sembla doncs, que la tendència és de passar de la modelització tradicional (individualitzada per a cada subsistema), passant per la modelització integrada actual, fins a arribar a una modelització en la que es contempli el sistema conca com a una unitat. És probable que el desenvolupament de models o eines d'aquest tipus, per part de les cases comercials que s'hi dediquen, no arribi fins que aquestes siguin rendibles i n'augmenti la demanda. És en aquest punt on la legislació hi juga un paper fonamental, promovent la gestió integrada de la qualitat de l'aigua. La Directiva Marc de l'Aigua (2000/60/CE) aporta els primers conceptes d'una legislació encaminada cap a aquest objectiu.

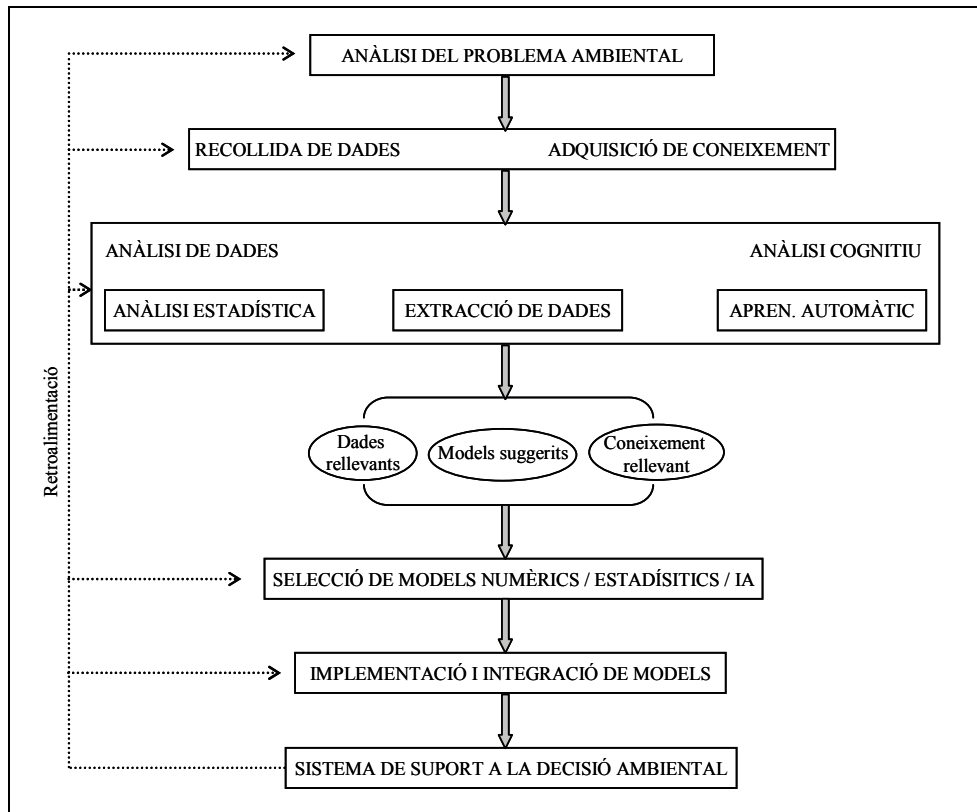
## 1.4. Sistemes de Suport a la Decisió Ambiental (SSDA)

Una vegada s'ha definit el problema ambiental (generació d'aigües residuals) i la forma amb la que s'ha d'afrontar (gestió integrada de les infraestructures de sanejament d'aigües residuals), cal utilitzar eines que permetin desenvolupar aquesta gestió integrada. Els SSDA inclouen models numèrics que ajuden a comprendre millor les relacions entre, per exemple, les accions preses durant la gestió diària d'una EDAR i la resposta que aquesta gestió provoca sobre la qualitat de l'aigua de sortida, però, a més, també incorporen el coneixement dels experts, element necessari en el procés de presa de decisions, i formes de conceptualització d'aquest coneixement (ontologies). En un projecte on les característiques geogràfiques són de gran rellevància, sobretot pel que respecte al sistema de clavegueram i al riu, les potencialitats d'un Sistema d'Informació Geogràfica resulten decisives. Els SSDA també poden incorporar aquest tipus d'eines (Figura 1.5).



**Figura 1.5.** Components conceptuals d'un SSDA (Poch *et al.*, 2004).

El mètode de construcció d'un SSDA varia segons el tipus de problema ambiental i el tipus d'informació i coneixement que es pot adquirir. No obstant, es considera que hi ha una sèrie de passos que, de forma general, s'han de seguir durant la seva construcció. En la Figura 1.6 es presenta un esquema de les principals fases de construcció d'un SSDA.



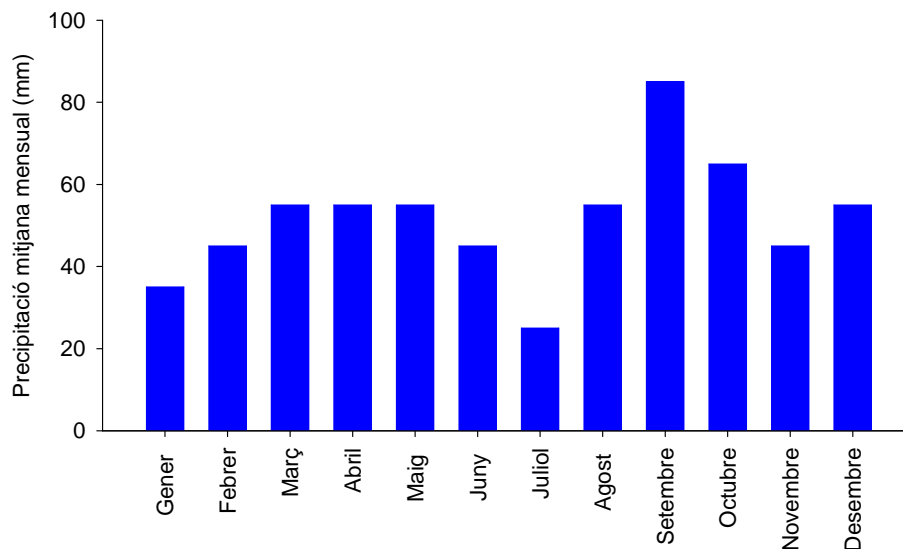
**Figura 1.6.** Diagrama de flux per desenvolupar un SSDA (Poch *et al.*, 2004).

Una vegada valorat el problema que es vol afrontar, s'avaluen les restriccions existents, s'analitza la informació disponible i s'adquireix el coneixement que els experts tenen sobre problema a tractar. Tot seguit s'elegeixen el conjunt d'eines que han de formar el SSDA. Els models numèrics s'utilitzen per simular problemes reals i les alternatives de solució. Les metodologies d'intel·ligència artificial (IA) s'inclouen per representar el coneixement expert. Finalment, els models triats s'implementen i integren per formar el SSDA. En cadascuna de les fases de construcció s'han de replantejar i verificar el compliment dels objectius marcats en les fases anteriors, per evitar la propagació de possibles errors de disseny. Si es detecta algun error o possibilitat de millora durant la construcció, es retorna a alguna de les fases anteriors (retroalimentació).

Aquest tipus de construcció dóna als SSDA la capacitat d'afrontar un problema ambiental, en el qual l'experiència de les persones expertes involucrades proporciona el coneixement adequat per trobar la solució al problema plantejat. A més, també permet que la identificació del problema sigui més ràpida, centrant, durant la seva avaluació, l'atenció de les persones responsables de prendre la decisió (Poch *et al.*, 2004).

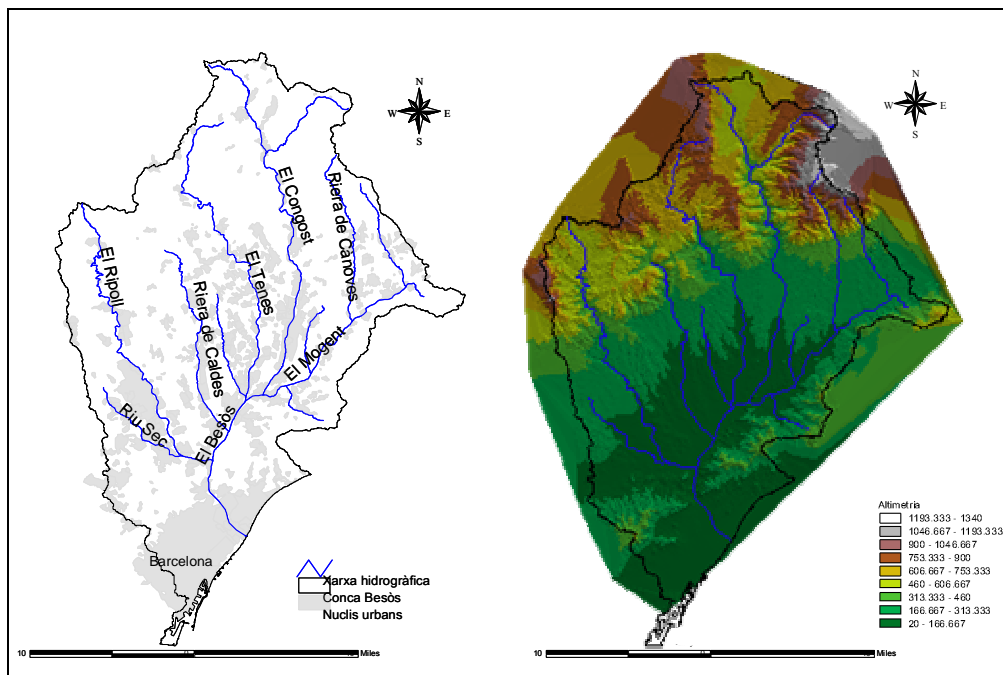
## 1.5. La conca del Besòs

La conca del Besòs té 1.039 km<sup>2</sup> i transcorre per les comarques d'Osona, el Vallès Oriental, el Vallès Occidental i el Barcelonès. Es troba limitada per les carenes de la Serralada Litoral i la Serralada Prelitoral. La longitud dels rius i rieres més importants d'aquesta conca arriba als 180 km, i la major part transcorre en direcció NE-SO. El riu Besòs, que dona nom a la conca, pren el nom a partir de la confluència dels rius Mogent i Congost, dos dels seus principals afluents, i té una llargada d'uns 18 km fins a la seva desembocadura, a la zona nord de la ciutat de Barcelona. El clima mediterrani determina el seu règim hidrològic amb cabals mínims molt baixos a l'estació més seca (2 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> a la desembocadura), i cabals amb capacitat d'inundació provocats per pluges torrencials a la tardor. En la Figura 1.7 es presenten la precipitacions mitjanes mensuals de la ciutat de Granollers. Aquest patró, amb un mínim de precipitacions al juliol i un màxim al setembre, és comú per a tota l'àrea d'estudi.



**Figura 1.7.** Precipitacions mitjanes mensuals a la ciutat de Granollers (Pons, 1996; Ninyerola *et al.*, 2000).

La Conca del Besòs és la més habitada de Catalunya, amb més de 2 milions d'habitants. La població limítrofa amb la llera del riu Besòs arriba als 550.000 habitants, la major part de la qual es concentra al curs baix i la desembocadura (Figura 1.8).



**Figura 1.8.** Xarxa hidrogràfica, zona urbanitzada i orografia del la Conca del Besòs.

Els rius de la conca estan sotmesos a una forta pressió industrial (automobilística, electrònica, alimentària, tèxtil, química, metal·lúrgica, de mobles, etc.) i en total s'hi comptabilitzen al voltant d'uns 10.000 establiments amb capacitat de contaminació.

La pressió sobre la conca del Besòs comença a partir del 1960, quan es produeix un canvi en el model de creixement demogràfic i urbanístic de les poblacions que envolten la conca, sobretot en el seu tram baix. Aquest creixement és conseqüència directa del desenvolupament industrial d'aquests anys, que amb la indústria tèxtil té el seu més clar exponent. Com a conseqüència de les riudes del 1962, i amb l'objectiu de minimitzar l'impacte de futures crescudes del riu, també es va decidir canalitzar gran part del tram baix del riu Besòs.

Les conseqüències directes d'aquesta pressió són:

- Pèrdua de qualitat de l'aigua del riu, a causa dels abocaments d'aigües residuals, urbanes i industrials, no tractades.
- Destrucció del bosc de ribera, a causa de que el sòl que ocupava aquest bosc passa a tenir altres usos (agrícoles, industrials i urbans).
- Desaparició d'un gran nombre d'espècies vegetals i animals, que amb la degradació del seu hàbitat no hi poden sobreviure.
- Degradació del paisatge i pèrdua del usos tradicionals del riu (pesca, bany, abastiment directe, etc.).

Fins a meitats dels anys 80 la pressió sobre el riu va anar en augment, i la Conca del Besòs va passar a considerar-se com una de les més contaminades d'Europa. Paral·lelament al procés de degradació de la conca, es varen desenvolupar moviments socials que demanaven la seva recuperació. A partir dels anys 90, s'inicia el procés de recuperació i les mesures de sanejament aplicades comencen a donar resultats sobre la qualitat de l'aigua del riu. D'entre les mesures que han contribuït a la recuperació de la conca cal destacar:

- Generalització de les instal·lacions de sanejament d'aigües residuals i minimització dels abocaments directes a riu.
- Seguiment de la qualitat de l'aigua (estacions de mesura) i control dels abocaments puntuals.
- Recuperació del bosc de ribera, sobretot en els trams alts i mitjans dels rius.
- Mesures de restauració del paisatge. Al tram final del riu Besòs es desenvolupa un projecte de recuperació de la llera anomenat "Parc fluvial del Besòs".

Tot i el procés de recuperació, l'estat actual de la conca, en termes de qualitat ecològica, encara està lluny del seu òptim i, actualment, en gran part del tram baix no es detecta la presència dels macroinvertebrats que indiquen una bona qualitat de l'aigua, segons l'índex *Ecostrimed* (veure Figura 1.1).

La qualitat de l'aigua també es pot mesurar mitjançant paràmetres fisico-químics. La concentració d'amoni és un dels més utilitzats, ja que a concentracions elevades ( $> 1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) l'amoni és tòxic per la vida aquàtica (Prat *et al.*, 2002). Aquesta és la concentració de referència a pH 8 i a una temperatura de 16 °C. La toxicitat de l'amoni és atribuïble a la seva forma no ionitzada (l'amoníac) i aquest pas d'amoni a amoníac augmenta a mesura que els valors de pH i temperatura són més alts. També en el tram baix de la Conca del Besòs és on es detecta una major concentració d'aquest paràmetre. En la Taula 1.9 es presenta la concentració mitjana d'amoni, per al període 2000-2004, segons les anàlisis mensuals que l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) realitza en les estacions de control situades al tram baix de la Conca del Besòs.

**Taula 1.9.** Concentració d'amoni al tram baix de la Conca del Besòs (ACA).

Codi estació	Municipi	Riu	Concentració mitjana NH <sub>4</sub> (2000-2004)
BE060J044	Montcada i Reixac	Riu Ripoll	14.95 g·m <sup>-3</sup>
C063	Santa Perpètua de Mogoda	Riera de Caldes	1.41 g·m <sup>-3</sup>
J082	Mollet del Vallès	Riu Tenes	8.80 g·m <sup>-3</sup>
BE015J089	Montornès del Vallès	Riu Congost	26.95 g·m <sup>-3</sup>
BE030J035	Montornès del Vallès	Riu Mogent	3.38 g·m <sup>-3</sup>
J069	Montmeló	Riu Besòs	19.56 g·m <sup>-3</sup>
BE035J128	La Llagosta	Riu Besòs	14.83 g·m <sup>-3</sup>
BE065	Montcada i Reixac	Riu Besòs	12.28 g·m <sup>-3</sup>
BE070J048	Santa Coloma de Gramenet	Riu Besòs	15.28 g·m <sup>-3</sup>

El procés de recuperació iniciat als anys 90 ha tingut els seus efectes en alguns trams de la conca. Fins i tot s'ha detectat indicis d'algun exemplar de llúdriga al riu Congost, espècie que requereix d'una alta qualitat ambiental per la seva presència. Aquest procés, a més, ha suposat un canvi de mentalitat respecte a la concepció dels rius com a sistemes naturals i no com a simple destinació final dels residus urbans. No obstant, és evident que encara calen millores en els sistemes de sanejament i de control de les aigües residuals, així com en les polítiques de prevenció de la contaminació, per poder arribar a uns nivells de qualitat de l'aigua acceptables en tota la Conca del Besòs.

## 2. Objectius

---

En els darrers anys s'ha experimentat una generalització de les instal·lacions destinades al tractament de les aigües residuals. La gestió integrada d'aquestes instal·lacions ha de permetre optimitzar-ne el seu rendiment, millorant la qualitat de l'aigua del medi receptor.

L'objectiu principal d'aquesta tesi és el de desenvolupar, conceptualment, un SSDA que doni suport als gestors de les infraestructures de sanejament d'un tram del riu Congost, a l'hora de decidir les millors alternatives d'actuació per al conjunt del sistema, amb la prioritat de garantir la millor qualitat possible de l'aigua del riu.

Per desenvolupar aquest objectiu principal s'han de realitzar els següents objectius concrets:

- Disseny del SSDA, que inclou els procediments de selecció dels components principals i el desenvolupament d'una metodologia de construcció.
- Recollida d'informació de tots els sistemes estudiats (clavegueram, EDAR i riu), per construir els models de simulació.
- Desenvolupament de models de simulació de la qualitat de l'aigua per als sistemes de clavegueram La Garriga i Granollers, per les EDAR La Garriga i Granollers i pel tram del riu Congost estudiat.
- Desenvolupament d'un Sistema d'Informació Geogràfic (SIG) per a la zona d'estudi. Transferència al SIG, de la informació geogràfica desenvolupada durant la construcció dels models de clavegueram i de riu. Construcció d'altres capes geogràfiques de referència.



- Desenvolupament d'un programa informàtic que permeti transferir dades, de forma automàtica, entre els models utilitzats.
- Adquisició de coneixement dels experts en gestió dels sistemes estudiats de clavegueram, EDAR i riu.
- Definició d'un conjunt d'escenaris de situacions crítiques i de gestió diària que afecten la qualitat de l'aigua en els sistemes de clavegueram, EDAR i riu. Simulació d'aquests escenaris amb els models desenvolupats.
- Anàlisi dels resultats de les simulacions dels escenaris i extracció de coneixement a partir dels mateixos.
- Construcció d'arbres de decisió que formaran el nucli de la base de coneixement del SSDA, utilitzant-los, en temps real, per facilitar l'operació dels gestors davant situacions determinades, en base a la informació proporcionada pels resultats de les simulacions dels escenaris i amb el principal criteri de preservar la qualitat de l'aigua del riu Congost.

## 3. Construcció del SSDA-Besòs

---

### 3.1. Antecedents

El nombre d'administracions, empreses i entitats involucrades en la gestió de la qualitat de l'aigua sol augmentar a mesura que augmenta l'escala de treball. A escala urbana, per exemple, es pot donar el cas que la gestió del sistema de clavegueram, de l'EDAR i de l'Estació de Tractament d'Aigua Potable (ETAP) estigui controlada per tres organismes diferents. Aquesta especialització el que provoca és que cadascun dels organismes es preocupi pel correcte funcionament de la seva àrea, sense que això signifiqui, necessàriament, una òptima gestió global. Aquest tipus de gestió encara veu accentuats els seus defectes quan s'augmenta l'angle de visió fins a contemplar un dels medis receptors de les aigües residuals: el riu. Si es contempla la conca hidrogràfica com a unitat superior en la qual es vol garantir la qualitat de l'aigua, la gestió integrada es fa imprescindible. Queda clar doncs, que un dels requisits perquè es puguin gestionar les infraestructures hidràuliques, a escala de conca, és que existeixi un organisme de gestió integral, l'interès del qual no serà que cadascun dels subsistemes funcioni correctament de forma independent, sinó que ho facin de forma integrada amb l'objectiu de garantir la qualitat de l'aigua a escala general. En l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi, aquest organisme existeix, i s'anomena Consorci per la Defensa de la Conca del Riu Besòs (CDCRB).

El CDCRB agrupa més de 50 entitats, la majoria de les quals són ajuntaments que han delegat les seves competències en matèria de sanejament. S'encarrega, bàsicament, del sanejament en alta i en baixa i de la millora de l'espai fluvial de gran part del territori delimitat per la conca del Besòs. El CDCRB es va constituir al febrer de 1988 amb l'aprovació, per part de vint-i-cinc ajuntaments de la conca i de l'Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulics i Tractament de

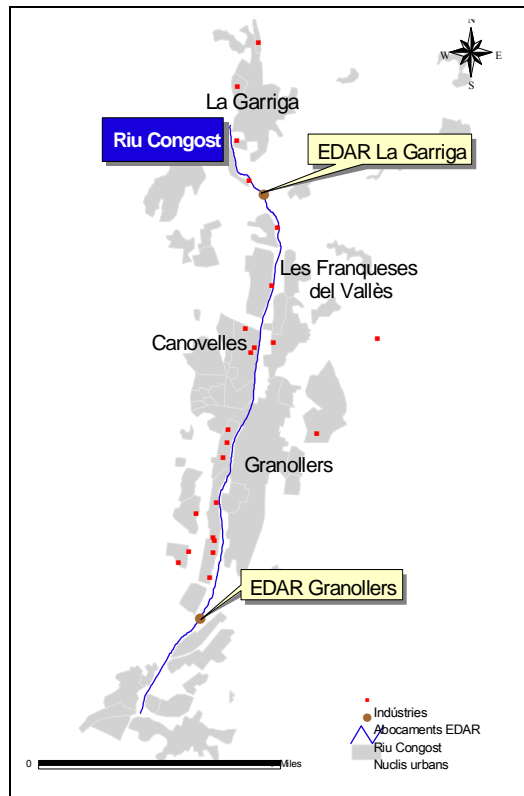
Residus, dels seus estatuts. Aquests estatuts defineixen les seves finalitats i funcions, d'entre les quals cal destacar:

- Possibilitar la coordinació dels ajuntaments i altres organismes del Consorci.
- Aconseguir una economia creixent de recursos i una millor assignació d'aquests a través d'accions comunes.
- Col·laborar amb les autoritats competents en l'àmbit del sanejament, tant del Govern Central com de la Generalitat de Catalunya.
- Realitzar totes aquelles gestions, iniciatives i projectes que puguin ésser solucions als problemes de contaminació de la Conca i de l'aprofitament de les seves aigües.
- Conèixer l'estat actual dels abocaments i xarxes de sanejament de la Conca.
- Actuar com a òrgan d'execució de projectes i instal·lacions i realitzar les obres i accions corresponents, així com realitzar els serveis de manteniment i gestió.
- Actuar, amb caràcter general, com a òrgan de representació dels ens del Consorci.

Una de les principals línies d'actuació del CDCRB va encaminada a garantir la qualitat de l'aigua en el seu àmbit d'actuació i, amb aquest objectiu, el CDCRB està treballant en la recerca de sistemes que facilitin la gestió de les infraestructures hidràuliques, integrant-hi els principals subsistemes (xarxa de clavegueram, EDAR i riu).

### **3.2. Àrea d'estudi**

L'objectiu principal d'aquest treball de recerca és el de desenvolupar eines que facilitin la gestió integral de la conca del Besòs, en el camp de la qualitat de l'aigua. Aquest projecte es centra en una zona concreta de la Conca del Besòs, on s'hi consideren els elements típics del sistema d'aigües residuals urbà: sistema de clavegueram, EDAR i medi receptor (riu). L'elecció de la zona ha respost a criteris de disponibilitat d'informació, inclusió de tots els elements de gestió i de possibilitats d'actuació, alhora que també ha estat imprescindible l'existència d'un mateix organisme de gestió de les infraestructures hidràuliques de la zona: el CDCRB. La zona de treball comprèn un tram del riu Congost, des de l'alçada de població de La Garriga fins a la seva unió amb el riu Mogent. En aquest tram del riu s'hi comptabilitzen 4 poblacions: La Garriga, que té un sistema de clavegueram i una EDAR pròpies, i les poblacions de Canovelles, Les Franqueses del Vallès i Granollers que comparteixen el sistema de clavegueram i l'EDAR. Ambdues EDAR aboquen el seu efluent al riu Congost (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Zona d'estudi.

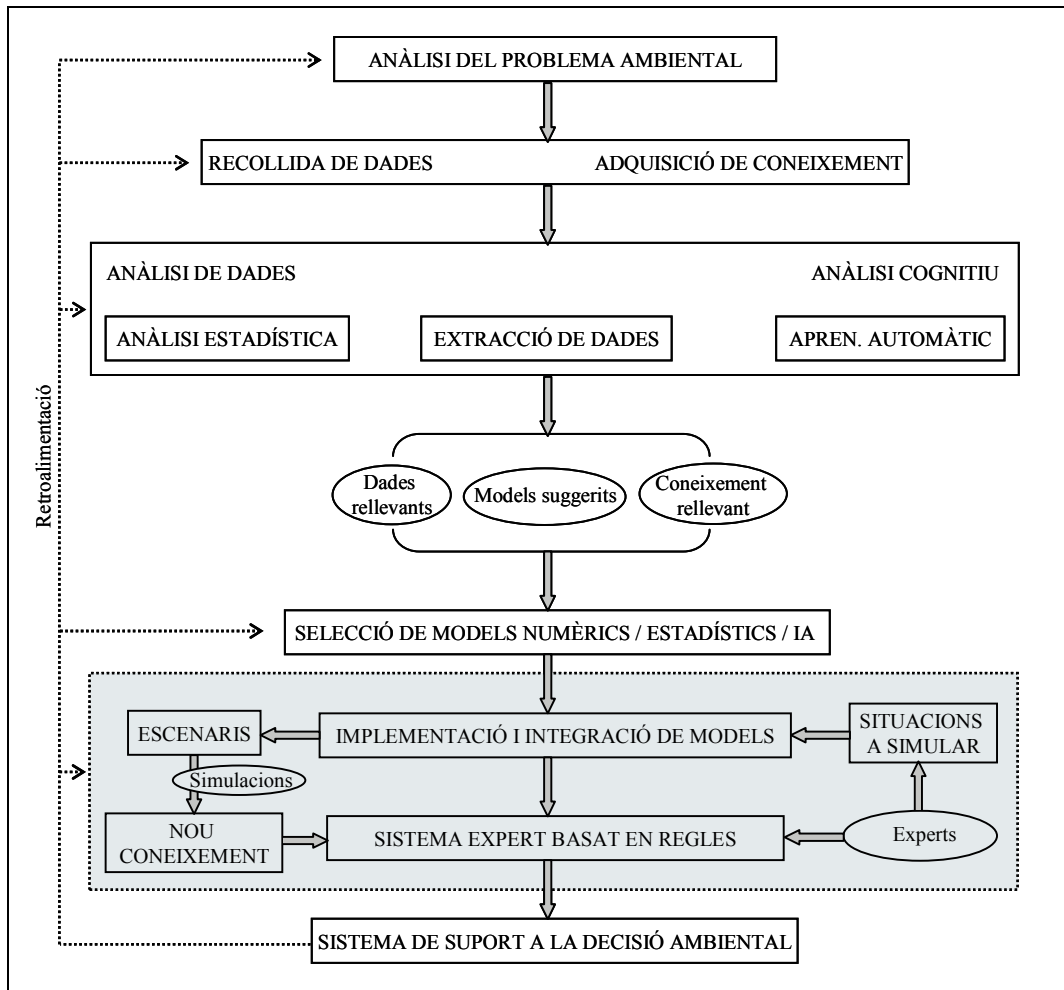
Un fet a destacar de la zona d'estudi és l'existència d'un canal de connexió que uneix les dues EDAR. Aquest canal permet derivar, sota determinades condicions, part del cabal de l'EDAR de La Garriga cap a l'EDAR Granollers, fet que augmenta el potencial d'actuació sobre el conjunt de les infraestructures. D'entre totes les indústries de la zona, també se n'han seleccionat un grup de 23 a tenir en compte, segons criteris de potencial de contaminació (veure apartat 3.6.1.3).

### 3.3. Proposta de construcció del SSDA

Fruït de la col·laboració entre la Universitat de Girona i el CDCRB va sorgir el projecte de construcció d'un SSDA per la gestió de les infraestructures hidràuliques a la Conca del Besòs amb l'objectiu de garantir la qualitat de l'aigua. Per la construcció del SSDA s'ha seguit, amb algunes modificacions, la metodologia proposada en l'apartat 1.4.

L'ús de models numèrics és una forma d'afrontar un problema de control o gestió, sobre el qual no es té la suficient informació (Carrasco, 2005). D'aquesta manera, s'utilitza el coneixement dels experts per simular aquelles situacions de les quals manca informació, obtenint-ne nou coneixement. Com que el coneixement existent respecte al control i la gestió integrada d'infraestructures hidràuliques és limitat, s'ha optat per aquesta estratègia, modificant lleugerament el diagrama de flux original de la Figura 1.6 (veure apartat 1.4).

Una vegada plantejades, aquestes situacions de les quals no es té suficient informació es simulen mitjançant un sistema integrat de models numèrics, generant un conjunt d'escenaris l'anàlisi dels quals s'utilitzarà per generar nou coneixement. Aquest coneixement junt amb l'aportat pels experts serà el nucli per construir arbres de decisió que han de desembocar en un sistema expert basat en regles: motor del SSDA (Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Diagrama de flux per desenvolupar el SSDA-Besòs. Modificat a partir de Poch *et al.* (2004).

En els següents apartats es detallen cadascuna de les principals etapes de construcció del SSDA-Besòs. Totes les etapes queden descrites, encara que no sempre cada etapa es correspon amb un apartat individualitzat de l'índex d'aquest document.

### 3.4. Anàlisi del problema

Com a gestor, el CDCRB ha de tractar l'aigua residual d'acord amb la legislació, ha d'evitar que aigües no tractades siguin abocades al riu i, al mateix temps, ha d'optimitzar els costos econòmics del tractament. La major part dels sistema de clavegueram és unitari (rep l'aigua residual i l'aigua d'escorrentia de la pluja). A més, moltes indústries estan connectades al

sistema, implicant que un perfil irregular de cabal i de càrregues arribi a l'EDAR. Aquests factors dificulten el compliment de les obligacions del CDCRB. El CDCRB gestiona 14 EDAR i els seus sistemes de clavegueram en la conca del Besòs, però el projecte, com a prova pilot, es centra en el tram final del riu Congost, entre les ciutats de La Garriga i Granollers (Devesa *et al.*, 2004). Els principals elements contemplats en el projecte són:

- Sistema de clavegueram de La Garriga.
- EDAR La Garriga.
- Sistema de clavegueram de Granollers.
- EDAR Granollers.
- Indústries amb un cabal i potencial de contaminació més elevat: 24 connectades al sistema de Granollers i 4 al de La Garriga.
- Canal de connexió entre les EDAR de La Garriga i Granollers.
- Canal de connexió (fictici) entre les EDAR de Granollers i Montornès del Vallès.
- Riu Congost (des de l'alçada de La Garriga fins a la seva unió amb el riu Besòs).

Per poder afrontar els problemes típics de la gestió diària de les infraestructures hidràuliques, així com per preveure les actuacions davant de situacions excepcionals, el SSDA ha de servir per aconseguir els següents objectius:

- Dimensionar les derivacions de cabal entre els diferents sistemes.
- Ubicar i dimensionar dipòsits de regulació, que seran usats per regular cabals i càrregues, episodis crítics de contaminació i precipitacions intenses.
- Situar i dimensionar futurs increments de la capacitat dels sistemes (hidràulics, de tractament o de conduccions).
- Ubicar les seccions de control a la xarxa de col·lectors.
- Operar el conjunt de sistemes.
- Gestionar situacions de crisi.
- Planificació.

Aquests objectius s'han de portar a terme, considerant algunes limitacions. Aquestes limitacions són:

- Mantenir uns determinats cabals, que garanteixin un estat ecològic acceptable en el riu.
- Minimitzar el risc d'abocaments d'aigües insuficientment depurades al medi.
- Maximitzar l'aprofitament de les capacitats de depuració de les instal·lacions.
- Minimitzar els costos econòmics de la gestió diària i de les noves instal·lacions.

## 3.5. Recollida de dades i adquisició de coneixement

### 3.5.1. Sistemes de clavegueram

Segons les dades de 2004, el sistema de clavegueram de La Garriga recull les aigües residuals d'origen domèstic de 15120 habitants equivalents i les d'origen industrial de 6428 habitants equivalents. La xarxa de col·lectors principals té una longitud total de 6.3 km, construïts amb formigó armat i amb unes seccions el diàmetre de les quals varia entre 30 i 60 cm. A part dels col·lectors, s'hi comptabilitzen 99 pous, 3 cambres de regulació vòrtex, 12 sobreeixidors i 15 escomeses.

En el cas de Granollers, també amb dades de 2004, el sistema de clavegueram rep aigües residuals d'origen domèstic de 85612 habitants equivalents i aigües residuals d'origen industrial de 68707 habitants equivalents. La longitud total dels col·lectors principals arriba a uns 22 km, amb seccions de diàmetre entre 20 i 130 cm. En aquest sistema s'inclouen 424 pous, 2 cambres vòrtex, 73 sobreeixidors i 135 escomeses.

Per a construir els models dels dos sistemes de clavegueram es requereixen diferents tipus de dades. El CDCRB disposa d'un SIG dels dos sistemes. S'ha utilitzat la base de dades d'aquest SIG per introduir les dades físiques de la xarxa de clavegueram. Els principals elements de la xarxa són: conductes, pous de registre, sobreeixidors, dipòsits, bombes i subconques o àrees de drenatge. En les Taules 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 i 3.6 es detallen les dades introduïdes per a cadascun dels elements de la xarxa:

**Taula 3.1.** Dades corresponents als conductes.

Dades	Definició
ID node aigües amunt	Número identificador de la connexió situada aigües amunt del conducte
ID node aigües avall	Número identificador de la connexió situada aigües avall del conducte
Tipus xarxa	Combinada, d'aigües residuals o pluvial
Longitud	Longitud del conducte en metres
Forma	Forma del conducte: circular, rectangular, semicircular, etc.
Amplada	Amplada del conducte en mil·límetres
Alçada	Alçada del conducte en mil·límetres
Rugositat del fons	Coefficient de rugositat de Manning per al fons del conducte
Nivell del fons aigües amunt	Alçada sobre el nivell del mar (m) del extrem aigües amunt del conducte
Nivell del fons aigües avall	Alçada sobre el nivell del mar (m) del extrem aigües avall del conducte
Material	Material de construcció del conducte
Gradient	Gradient del conducte en m/m
Capacitat	Capacitat del conducte en $m^3 \cdot s^{-1}$

**Taula 3.2.** Dades corresponents als pous de registre.

Dades	Definició
ID node	Número identificador del pou de registre
Tipus xarxa	Combinada, d'aigües residuals o pluvial
Coordenada X	Valor (m) de la coordenada X del pou de registre, segons el sistema UTM
Coordenada Y	Valor (m) de la coordenada Y del pou de registre, segons el sistema UTM
Nivell del terreny	Alçada sobre el nivell del mar (m) de la superfície terrestre
Sostre de la cambra	Alçada sobre el nivell del mar (m) de la part superior de la cambra del pou
Solera de la cambra	Alçada sobre el nivell del mar (m) de la part inferior de la cambra del pou
Àrea de la cambra	Àrea de la cambra del pou en m <sup>2</sup>
Àrea plana del pou	Àrea plana del pou en m <sup>2</sup>

**Taula 3.3.** Dades corresponents als sobreeixidors.

Dades	Definició
ID node	Número identificador del sobreeixidor
ID node aigües amunt	Número identificador de la connexió aigües amunt
Tipus sobreeixidor	Estàndard o amb alçada regulable
Tipus xarxa	Combinada, d'aigües residuals o pluvial
Cresta	Alçada sobre el nivell del mar (m) de la cresta del sobreeixidor
Amplada	Amplada dels sobreeixidor en metres

**Taula 3.4.** Dades corresponents als dipòsits.

Dades	Definició
ID node	Número identificador del dipòsit
Tipus xarxa	Combinada, d'aigües residuals o pluvial
Coordenada X	Valor de la coordenada de situació X del dipòsit, segons el sistema UTM
Coordenada Y	Valor de la coordenada de situació X del dipòsit, segons el sistema UTM
Nivell del terreny	Alçada sobre el nivell del mar (m) de la superfície terrestre
Sostre de la cambra	Alçada sobre el nivell del mar (m) de la part superior de la cambra del dipòsit
Solera de la cambra	Alçada sobre el nivell del mar (m) de la part inferior de la cambra del dipòsit
Àrea superior	Àrea plana superior de la cambra del dipòsit en m <sup>2</sup>
Àrea inferior	Àrea plana inferior de la cambra del dipòsit en m <sup>2</sup>

**Taula 3.5.** Dades corresponents a les bombes.

Dades	Definició
ID node	Número identificador de la bomba
ID node aigües amunt	Número identificador de la connexió aigües amunt
Tipus xarxa	Combinada, d'aigües residuals o pluvial
Tipus bomba	Velocitat variable, cabal fixat, rotodinàmica, cargol d'Arquímedes, etc.
Nivell d'engegada	Alçada sobre el nivell del mar (m), en l'element sobre el qual actua la bomba, a partir de la qual aquesta s'engega.
Nivell de parada	Alçada sobre el nivell del mar (m), en l'element sobre el qual actua la bomba, a partir de la qual aquesta s'engega.
Cabal mínim	Cabal mínim de descàrrega (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
Cabal màxim	Cabal màxim de descàrrega (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
Canvi positiu de cabal	Taxa d'increment del cabal ((m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )·s <sup>-1</sup> )
Canvi negatiu de cabal	Taxa de disminució del cabal ((m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )·s <sup>-1</sup> )



**Taula 3.6.** Dades corresponents a les subconques.

Dades	Definició
ID subconca	Número identificador de la subconca
ID node	Número identificador del element al qual està associat la subconca
Tipus xarxa	Combinada, d'aigües residuals o pluvial
Àrea total	Àrea total (ha) de la subconca
Àrea de contribució	Àrea d'escorrentia o d'influència (ha) de la subconca
Coordenada X	Valor (m) de la coordenada X de la subconca, segons el sistema UTM
Coordenada Y	Valor (m) de la coordenada Y de la subconca, segons el sistema UTM
ID tipus de sòl	Valor identificador del tipus de sòl (urbà, semiurbà, agrícola, industrial, etc.)
Població	Població total en la conca
Connectivitat	Percentatge de població connectada a la xarxa
Perfil d'aigües residuals	Identificador del perfil d'aigües residuals associat a la subconca
Descàrrega industrial	Cabal industrial ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) associat a la subconca
Perfil d'aigües residuals indus.	Identificador del perfil d'aigües residuals industrials associat a la subconca
Perfil de precipitació	Identificador del perfil de precipitació associat a la subconca
Pendent	Pendent ( $m \cdot m^{-1}$ ) de la subconca
Àrea d'escorrentia	Percentatge de superfície impermeable

També s'ha introduït un episodi de pluja, que s'ha extret dels registres històrics de l'estació meteorològica de Granollers. Aquest correspon a una pluja real, de 23 mm en 12 hores, recollit al 1988. El consum d'aigua per càpita ha estat proporcionat pel CDCRB. En la Taula 3.7 es presenta la composició tipus de l'aigua residual utilitzada en les primeres simulacions. Aquest valors s'han modificat posteriorment durant el procés d'ajustament per a cada sistema (veure Taula 3.16, de l'apartat 3.6.1.3).

**Taula 3.7.** Composició tipus de l'aigua residual (Metcalf i Eddy, 2003) .

Paràmetre	Valor
DBO ( $g O_2 \cdot m^{-3}$ )	375
DQO ( $g O_2 \cdot m^{-3}$ )	875
NKT ( $g N \cdot m^{-3}$ )	81.25
NH4 ( $g N \cdot m^{-3}$ )	50
Fòsfor total ( $g \cdot m^{-3}$ )	9.4
MES ( $g \cdot m^{-3}$ )	437.5

El CDCRB també ha proporcionat les dades corresponents als establiments industrials simulats. En la Taula 3.8 es presenten les característiques de l'aigua residual de les indústries considerades. Les 4 primeres corresponen al sistema de La Garriga i les 16 restants al de Granollers.

**Taula 3.8.** Característiques dels efluentes de les indústries simulades.

Indústria	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	DQO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	NKT (g N·m <sup>-3</sup> )	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	Fòsfor total (g·m <sup>-3</sup> )	MES (g·m <sup>-3</sup> )
1	0.00110	170	1001	38	32	1	33
2	0.00446	378	607	29	10	4	194
3	0.00019	1200	2877	95	11	16	422
4	0.01000	798	2676	78	52	2	155
5	0.00239	2500	3700	95	31	29	760
6	0.00051	1000	1222	11	3	1.7	1520
7	0.00094	500	742	82	80	0.2	46
8	0.00255	1845	3690	281	197	230	565
9	0.00051	800	1023	89	83	207	235
10	0.00046	5512	8312	59	7	18	1879
11	0.00204	28	743	16	9	6	237
12	0.00064	1800	2319	76	45	3	363
13	0.00108	5	1243	20	2	0.24	513
14	0.00127	500	630	54	3	4	218
15	0.00077	6600	8877	74	49	2	103
16	0.00173	2041	2729	303	124	2	343
17	0.00022	5000	6164	40	11	172	253
18	0.00068	1800	2716	88	29	13	771
19	0.00027	150	271	103	66	0.25	127
20	0.00538	1270	2543	228	132	31	1486

### 3.5.2. EDAR

#### 3.5.2.1. EDAR La Garriga

L'EDAR La Garriga, situada al marge dret del riu Congost, dins el terme municipal del mateix nucli, tracta les aigües residuals urbanes i industrials generades a La Garriga i part de l'Ametlla del Vallès. Aquesta EDAR va ser amplificada l'any 2000 amb una configuració del reactor biològic Ludzack-Ettinger per l'eliminació de nitrogen. En la Figura 3.3 es presenten dues fotografies, del reactor biològic i del decantador secundari.



**Figura 3.3.** Reactor biològic (esquerra) i decantador secundari (dreta).

Com en la majoria de les EDAR, es diferencien dues línies de tractament: la línia d'aigües i la línia de fangs.

En la línia d'aigües, després del bombament, s'aplica un pretractament que consta de reixes de gruixuts, tamisat i dessorrament-desengreixament. Seguidament, l'aigua s'envia cap un decantador primari que, com a màxim, pot rebre  $27648 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . El cabal de purga d'aquest decantador és de  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . El cabal d'entrada als reactors biològics es limita a  $13994 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  mitjançant sobreexidors. A partir d'aquí, el procés continua a través de dues línies paral·leles. En cada línia hi ha un reactor tipus flux pistó (amb dos compartiments, un anòxic de  $480 \text{ m}^3$  i un aerobi de  $2400 \text{ m}^3$ ) i un decantador secundari. L'aeració és proporcionada per difusors i s'opera mitjançant un control proporcional integral (PI) de l'oxigen dissolt amb un punt de consigna fixat a  $1.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . La recirculació interna és de  $15000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , per a cada reactor. La recirculació externa total és d'un 150% sobre el cabal d'entrada, amb un control tipus marxa/parada, que regula el temps de bombeig (6000 s de marxa - 600 s de parada). La purga dels decantadors secundaris és de  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  i s'envia cap al decantador primari, d'on s'extreuen els fangs mixtes cap a la línia de fangs.

En la línia de fangs es reben els fangs mixtes que són tamisats i espessits per gravetat. Finalment, aquests són deshidratats per centrifugació, abans d'enviar-se a abocadors controlats. Les aigües generades durant els processos d'espessiment i deshidratació s'envien al pou d'entrada a EDAR.

Els principals paràmetres de disseny de l'EDAR es presenten en la Taula 3.9.

**Taula 3.9.** Paràmetres de disseny de l'EDAR de La Garriga (CDCRB).

Paràmetre	Valor de disseny
Cabal diari	$7000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
DBO entrada	$250 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$
MES entrada	$200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
DBO sortida	$< 25 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$
MES sortida	$< 35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
Població equivalent	29000 hab. equiv.
Potència instal·lada	425 Kw
Superfície ocupada	$13500 \text{ m}^2$

Tant les dades operacionals com les dades físiques necessàries per construir el model d'EDAR han estat facilitades pel CDCRB. En la taula 3.10 es presenten les dades físiques de les unitats bàsiques de l'EDAR. Les dades presentades corresponen a una de les dues línies paral·leles de funcionament que té l'EDAR.

**Taula 3.10.** Característiques físiques requerides per construir el model de l'EDAR La Garriga

Dades físiques	Decantador primari	Decantador secundari	Dades físiques	Reactor biològic
Superfície (m <sup>2</sup> )	254	314	Nombre de volums individuals	2
Alçada (m)	3.13	3.5	Volum tanc anòxic (m <sup>3</sup> )	480
Alçada punt d'alimentació (m)	1	1	Volum tanc aeròbic (m <sup>3</sup> )	2400
Tipus d'unitat	Circular	Circular	Tipus de flux	Flux-pistó

### 3.5.2.2. EDAR Granollers

L'EDAR Granollers, situada dins el terme municipal del mateix nucli i al marge esquerre del riu Congost, tracta les aigües residuals urbanes i industrials dels municipis de Granollers, Canovelles i Les Franqueses del Vallès. Al 1998 es van fer obres d'ampliació a l'EDAR per incorporar un tractament biològic. Actualment el reactor té una configuració Ludzack-Ettinger, que li permet eliminar nitrogen, sota determinades condicions. En la Figura 3.4 es presenta una fotografia aèria de l'EDAR Granollers.

**Figura 3.4.** Fotografia aèria de l'EDAR Granollers.

En la línia d'aigües el cabal màxim d'entrada a planta és de 76800 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. El pretractament consisteix en reixes de gruixuts, tamisat i dessorrament/desengreixament. A partir d'aquí funcionen dues línies en paral·lel. Per a cada línia hi ha un decantador primari amb una purga de 300 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. El cabal d'entrada als reactors biològics es limita a 34440 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>, mitjançant sobreeixidors. Els reactors biològics són tipus flux-pistó i cadascun té un compartiment anòxic de 324 m<sup>3</sup> i 4 compartiments aerobis de 1016 m<sup>3</sup>. L'aeració és proporcionada mitjançant difusors i s'opera mitjançant un control PI de l'oxigen dissolt amb un punt de consigna fixat a 1.5 g·m<sup>-3</sup>. La recirculació interna és de 21600 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> per reactor. Després dels reactors hi ha un petit tanc

de desaeració de  $10 \text{ m}^3$ , en el qual es purguen  $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Finalment l'aigua s'envia cap als decantadors secundaris. La recirculació externa per ambdues línies és de  $14400 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ .

En la línia de fangs, es reben els fangs biològics i els primaris que són espessits, abans de ser enviats cap a una unitat de digestió anaeròbia. Finalment els fangs es deshidraten mitjançant centrífugues, s'assequen i es dipositen en abocadors controlats. Els processos d'espessiment i deshidratació generen un cabal d'aigua aproximat de  $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  que és enviat al pou d'entrada a EDAR.

Els paràmetres de disseny de l'EDAR es presenten en la Taula 3.11.

**Taula 3.11.** Paràmetres de disseny de l'EDAR Granollers (CDCRB).

Paràmetre	Valor de disseny
Cabal diari	$25000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
DBO entrada	$650 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$
MES entrada	$550 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
DBO sortida	$< 25 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$
MES sortida	$< 35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
Població equivalent	128000 hab. equiv.
Potència instal·lada	780 Kw
Superfície ocupada	$30000 \text{ m}^2$

Les dades operacionals i físiques també han estat facilitades pel CDCRB. En la taula 3.12 es presenten les dades físiques de les unitats bàsiques de l'EDAR. Les dades presentades corresponen a una de les dues línies paral·leles de funcionament de l'EDAR.

**Taula 3.12.** Característiques físiques requerides per construir el model de l'EDAR Granollers

Dades físiques	Decantador primari	Decantador secundari	Dades físiques	Reactor biològic
Superfície ( $\text{m}^2$ )	660.5	707	Nombre de volums individuals	5
Alçada (m)	3.5	3.35	Volum tanc anòxic ( $\text{m}^3$ )	324
Alçada punt d'alimentació (m)	0.5	0.5	Volum tanc aeròbic ( $\text{m}^3$ )	$4 \times 1016$
Tipus d'unitat	Circular	Circular	Tipus de flux	Flux-pistó

Periòdicament es fan controls de la qualitat de l'aigua en els efluent i influent de les dues EDAR. Aquestes dades també han estat considerades i analitzades durant el procés d'ajustament dels models (apartats 3.6.2.3.1 i 3.6.2.3.2.).

### 3.5.3. Riu

El tram del riu Congost estudiat té una longitud de 15 km, la majoria dels quals transcorren entre un entorn altament alterat, des del seu pas per La Garriga, passant per Les Franqueses del Vallès, Canovelles, Granollers i Montornès del Vallès, abans d'unir-se amb el riu Mogent per formar el que es denomina riu Besòs. Morfològicament el tram estudiat es pot dividir en dues grans zones. En la part alta, fins a l'entrada a la ciutat de Granollers, el riu transcorre per ambients poc antropitzats o naturals, amb bosc de ribera ben conservat i amb un llit poc ample. En la Figura 3.5 es presenten dues fotografies preses a l'alçada de l'estació d'aforament 135R01 de control del cabal, aigües amunt de La Garriga.



**Figura 3.5.** Aspecte del riu Congost a l'alçada de l'estació d'aforament 135R01.

En la part baixa, l'amplada del llit del riu es va eixamplant i, des de l'entrada a Les Franqueses del Vallès, el riu transcorre per trams molt antropitzats i sense bosc de ribera fins a la seva unió amb el riu Mogent. A més, gran part d'aquest tram, al seu pas per la ciutat de Granollers, està canalitzat. En la Figura 3.6 es presenten dues fotografies del riu Congost a l'entrada nord de la ciutat de Granollers, a l'alçada del pont del carrer Ramon Llull.



**Figura 3.6.** Aspecte del riu Congost a l'entrada nord de Granollers (Esquerra: sentit sud. Dreta: sentit nord).

El cabal mitjà a l'inici del tram estudiat és d'uns  $0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , però està sotmès a fortes variacions estacionals, típiques amb els rius mediterranis. També la qualitat de l'aigua en aquest punt és molt variable, depenent de la qualitat dels efluents de petites EDAR situades aigües amunt. En termes generals i respecte a la qualitat de l'aigua, el tram de riu estudiat es pot dividir en dues zones: una des de l'inici fins a l'EDAR Granollers, i l'altra des d'aquesta d'aquí fins al final del tram estudiat. Aquesta EDAR rep una càrrega industrial molt elevada, fet que provoca que el tractament de l'aigua residual no sigui òptim, amb la conseqüent influència de l'abocament sobre el riu, a partir d'aquest punt.

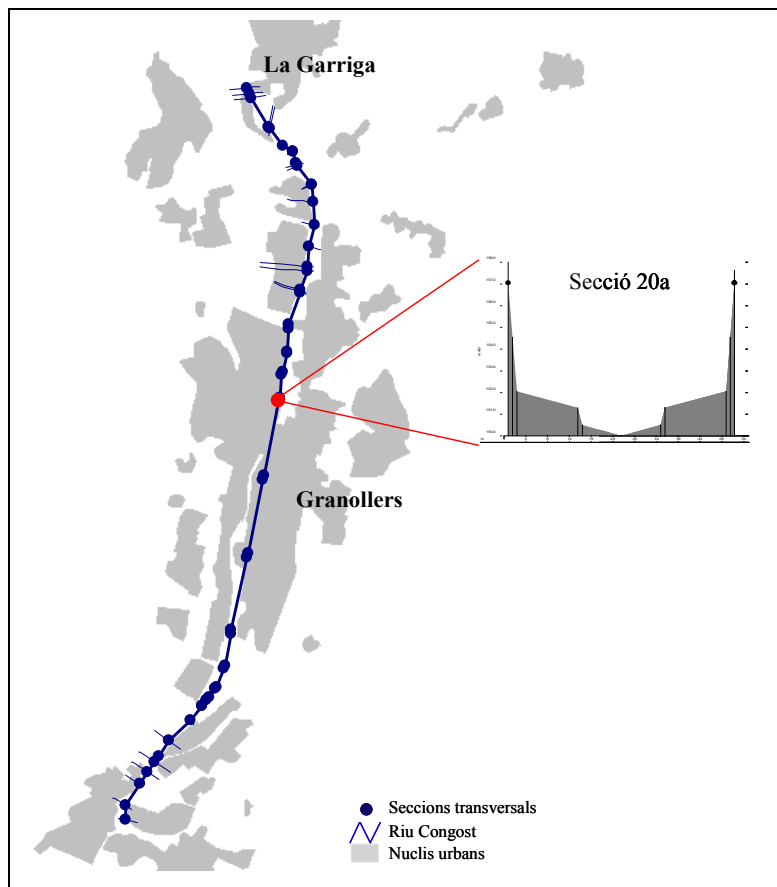
Les dades físiques necessàries per construir el model del tram estudiat del riu Congost s'han extret del *Pla director de protecció contra avingudes a la conca del Besòs* (Ruiz *et al.*, 1999). En el model s'han introduït 49 seccions transversals, les dades de les quals es presenten en la Taula 3.13.

Taula 3.13. Característiques de les seccions transversals del riu Congost.

Secció	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Distància a l'inici (m)	Pendent del llit (m/m)	Alçada del llit (m)	Alçada del marge esquerre (m)	Alçada del marge dret (m)	Coefficient de rugositat de Manning
01a	440043.01	4614015.03	0	0.0060	212.3	221	219.4	0.06
01b	440087.72	4613905.03	119	0.0060	212.3	221	219.4	0.06
01c	440129.19	4613827.75	207	0.0060	212.3	221	219.4	0.06
04a	440453.14	4613280.6	843	0.0090	209.1	215	216.7	0.06
04b	440479.73	4613239.98	893	0.0090	209.1	215	216.7	0.06
6	440720.65	4612907.11	1304	0.0150	204.2	208	208.1	0.035
07a	440928.63	4612802.85	1537	0.0120	200	220	205	0.06
07b	440928.63	4612802.85	1547	0.0120	200	220	205	0.06
08a	440986.69	4612572.04	1785	0.0090	198.6	215	205	0.04
08b	441012.39	4612537.1	1828	0.0090	198.6	215	205	0.04
09a	441275	4612184.13	2268	0.0120	191	210	198.8	0.04
09b	441286.61	4612159.54	2295	0.0120	191	210	198.8	0.04
10	441297.17	4611840.49	2615	0.0080	189.8	205	196.3	0.04
11	441332.81	4611393.8	3063	0.0080	186	200	191.9	0.04
12	441220.85	4610991.51	3480	0.0080	182.5	190	187	0.04
13a	441196.55	4610607.21	3865	0.0120	178.5	185	182.7	0.04
13b	441190.3	4610523.18	3949	0.0120	178.5	185	182.7	0.04
15a	441063.66	4610157.13	4336	0.0120	172	179	183.6	0.06
15b	441051.75	4610125.98	4370	0.0120	172	179	183.6	0.06
17a	440849.31	4609511.18	5017	0.0083	164	169.8	170	0.04
17b	440842.54	4609430.87	5097	0.0083	164	169.8	170	0.04
18a	440807.72	4608997.37	5532	0.0120	158.5	164.5	163.5	0.04
18b	440801.22	4608963.36	5567	0.0120	158.5	164.5	163.5	0.04
19a	440725.44	4608599.58	5939	0.0120	154.8	160	158.8	0.04
19b	440713.07	4608559.32	5981	0.0120	154.8	160	158.8	0.04
20a	440670.09	4608109.69	6433	0.0100	150	157	157	0.04
20b	440659.19	4608068.84	6475	0.0100	150	157	157	0.04
20c	440364.33	4606638.79	7935	0.0103	135	142	142	0.04
20d	440345.33	4606555.81	8020	0.0103	135	142	142	0.04
20e	440058.57	4605167.9	9437	0.0106	120	127	127	0.04
20f	440038.1	4605084.33	9524	0.0106	120	127	127	0.04
21a	439752.81	4603697	10940	0.0110	105	112	112	0.04
21b	439744.29	4603631.21	11004	0.0110	105	112	112	0.04
22a	439627.22	4603026.65	11620	0.0130	98.3	103.1	103	0.04
22b	439606.82	4602965.56	11684	0.0130	98.3	103.1	103	0.04
23a	439469.31	4602608.38	12067	0.0100	94	102	98.3	0.04
23b	439433.17	4602567.62	12121	0.0100	94	102	98.3	0.04
24a	439326.92	4602402.54	12317	0.0130	91.8	96.1	95.7	0.04
24b	439288.47	4602357.79	12375	0.0130	91.8	96.1	95.7	0.04
25a	439202.08	4602255.22	12509	0.0070	91.7	95	95	0.04
25b	439195.52	4602247.33	12519	0.0070	91.7	95	95	0.04
26	438964.73	4601973.87	12877	0.0100	87.5	94.5	91.7	0.06
28	438571.87	4601591.07	13426	0.0900	82.7	86.3	90	0.06
29	438367.61	4601304.15	13778	0.0110	79.45	83.3	83.2	0.04
30	438300.9	4601181.06	13918	0.0056	78.72	83	83	0.04
31	438161.27	4600991.14	14154	0.0064	77.4	82	82	0.04
32	438003.52	4600766.61	14428	0.0060	76	80.5	80.5	0.04
33	437749.17	4600352.72	14914	0.0064	69.3	80	77	0.04
34	437747.48	4600076.45	15190	0.0060	68	74	73.5	0.04



En la Figura 3.7 es presenta un esquema de la situació de les seccions transversals al riu Congost i un exemple de secció ampliada.



**Figura 3.7.** Situació de les seccions transversals.

Per a establir el cabal inicial del riu s'han utilitzat dades de l'estació d'aforament 135R01 del Sistema Automàtic d'Informació Hidrològica (SAIH) que l'ACA té situada a La Garriga. El cabal mitjà utilitzat en la situació de referència és de  $0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , però també s'han utilitzat altres cabals inicials segons les característiques de l'escenari simulat (situació de cabal baix, temps sec o pluja).

Per a definir la qualitat de l'aigua inicial del riu Congost s'han utilitzat les dades de l'estació de control manual J037, a La Garriga, i s'han ajustat els resultats del model, en el tram final del riu, amb les dades de l'estació de control manual J089 de Montornès del Vallès. Ambdues estacions estan controlades per l'ACA.

### 3.5.4. Entrevistes personals

El desenvolupament del projecte es divideix en dues grans fases: la fase de construcció, implementació i integració dels models i la fase de construcció i simulació dels escenaris. En ambdues fases s'han necessitat dades específiques com les descrites abans però també ha estat necessari disposar de coneixement expert, sobretot en la segona fase, per dur a terme el projecte. Experts de diferents àrees (gestors EDAR i sistemes de clavegueram, experts en models, controladors de la qualitat de l'aigua del riu, etc.) han contribuït amb coneixements específics. El sistema d'adquisició d'aquest coneixement ha estat el d'entrevistes personals. A mesura que s'ha avançat en el desenvolupament del projecte s'han realitzat entrevistes amb els diferents experts per aconseguir el coneixement necessari per a cada etapa de treball. S'han realitzat 43 entrevistes al llarg del desenvolupament del projecte. En la Taula 3.14 es presenta una relació de les fonts de coneixement i dels temes consultats.

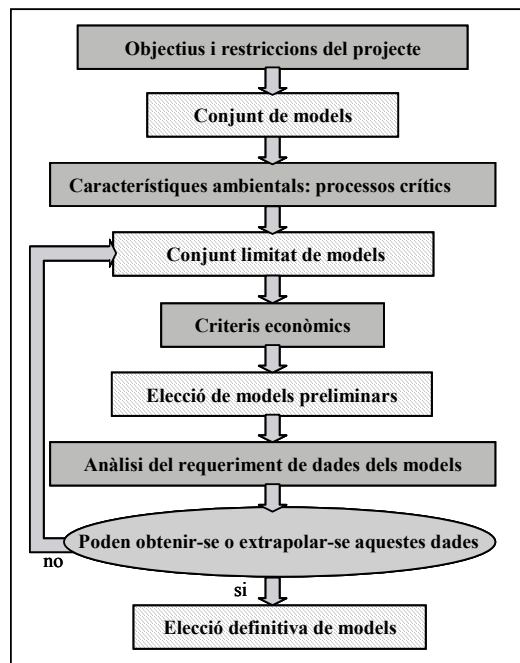
**Taula 3.14.** Fonts de coneixement i temes consultats

Font	Entrevistes	Tema
Expert informàtic (UPC)	4	Alternatives de disseny d'un SSDA. Comunicació entre els components del SSDA.
Tècnic de gestió de clavegueram (SOREA)	3	Sobreeixidors i àrees d'influència dels pous de registre dels sistemes de clavegueram de La Garriga i Granollers.
Experts en model de clavegueram (UPV)	1	Problemàtiques típiques en la modelització del sistema de clavegueram.
Cap de planta EDAR La Garriga	2	Coneixements generals de l'EDAR. Problemàtiques de funcionament.
Gestor EDAR Granollers	5	Coneixements generals de l'EDAR. Problemàtiques de funcionament.
Expert en model d'EDAR (UdG)	3	Coneixements generals de models d'EDAR.
Expert indústries (CDCRB)	2	Indústries més contaminants: ubicació, controls de qualitat i episodis de contaminació.
Controlador pluviòmetres (CDCRB)	1	Règim pluviomètric de la zona. Episodis de pluja intensos.
CDCRB	4	Dipòsits de regulació. Canals de derivació.
Expert informàtic (CDCRB)	8	Integració de models.
Expert riu Besòs (CDCRB)	4	Coneixements generals del riu Congost. Punts de control. Cartografia. Episodis de contaminació.
Gestor EDAR Granollers	6	Definició dels escenaris de simulació.

### 3.6. Selecció i implementació de models

Els models han de representar de forma aproximada els tres subsistemes (xarxa de clavegueram, EDAR i riu) de forma que es puguin simular canvis respecte a les situacions més típiques, aquelles situacions de les quals falta coneixement, alternatives d'actuació davant episodis crítics de contaminació o pluges, etc.

En la Figura 3.8. es presenta el protocol de selecció de models utilitzat.



**Figura 3.8.** Protocol de selecció de models.

En primer lloc s'han de definir els objectius i restriccions del projecte. D'aquesta manera, s'ha elegit un grup de models, capaços de simular, com a mínim, l'amoní, la Demanda Biològica d'Oxigen (DBO), l'Oxigen Dissolt (OD) i la temperatura. D'aquest grup preliminar s'han descartat aquells models que no simulen algun dels processos crítics considerats en el sistema conca (ex. escorrentia). A més, també s'han considerat dos altres elements durant el procés de selecció: la bona comunicació entre models i el coneixement previ que es tenia sobre la modelització dels subsistemes. S'ha considerat el temps, com una altra restricció per a desenvolupar el projecte, i s'ha optat per elegir models coneguts per reduir el temps d'aprenentatge d'aquests. Com a conseqüència InfoWorks Collections Systems (CS), GPS-X i InfoWorks River Simulation (RS) han estat les tres eleccions.

Si es comparen diferents tipus de models amb diferents nivells de detall, els models més apropiats per complir els objectius del projecte són aquells que tenen un balanç òptim entre les incerteses resultants de les assumpcions que es produeixen durant la implementació del model i

les incerteses inherents a les dades. El balanç, a més, depèn de la disponibilitat de dades, així com del nivell de detall òptim del model. La fiabilitat del model és major si s'augmenta la quantitat de dades, malgrat que els costos d'implementació també s'incrementen (Willems, 2003). Considerant aquestes valoracions, com a pas final, s'han comparat els programes elegits amb la disponibilitat de dades per confirmar la seva elecció.

### 3.6.1. Sistema de clavegueram

#### 3.6.1.1. Programa utilitzat

Els dos sistemes s'han modelitzat amb InfoWorks CS de Wallingford Software Ltd. InfoWorks CS gestiona xarxes de clavegueram, a partir de dades físiques de la pròpia xarxa i dades hidràuliques. La modelització de contaminants és conservativa. No hi ha interacció entre els contaminants i l'ambient, ni entre els propis contaminants. No obstant, el mòdul de qualitat d'aigua d'InfoWorks CS permet simular l'acumulació i el moviment de sediments i contaminants associats als sediments en la xarxa durant episodis de pluja.

InfoWorks CS utilitza tres elements bàsics per concebre una xarxa de clavegueram: els nodes (pous de registre, sobreeixidors, dipòsits, etc.), els conductes (escomeses, canonades, col·lectors principals, etc.) i les subconques (àrea urbana amb escomeses connectades a un node en concret i àrea urbana que drena l'aigua de pluja cap a un dels nodes d'entrada al sistema) (Figura 3.9).

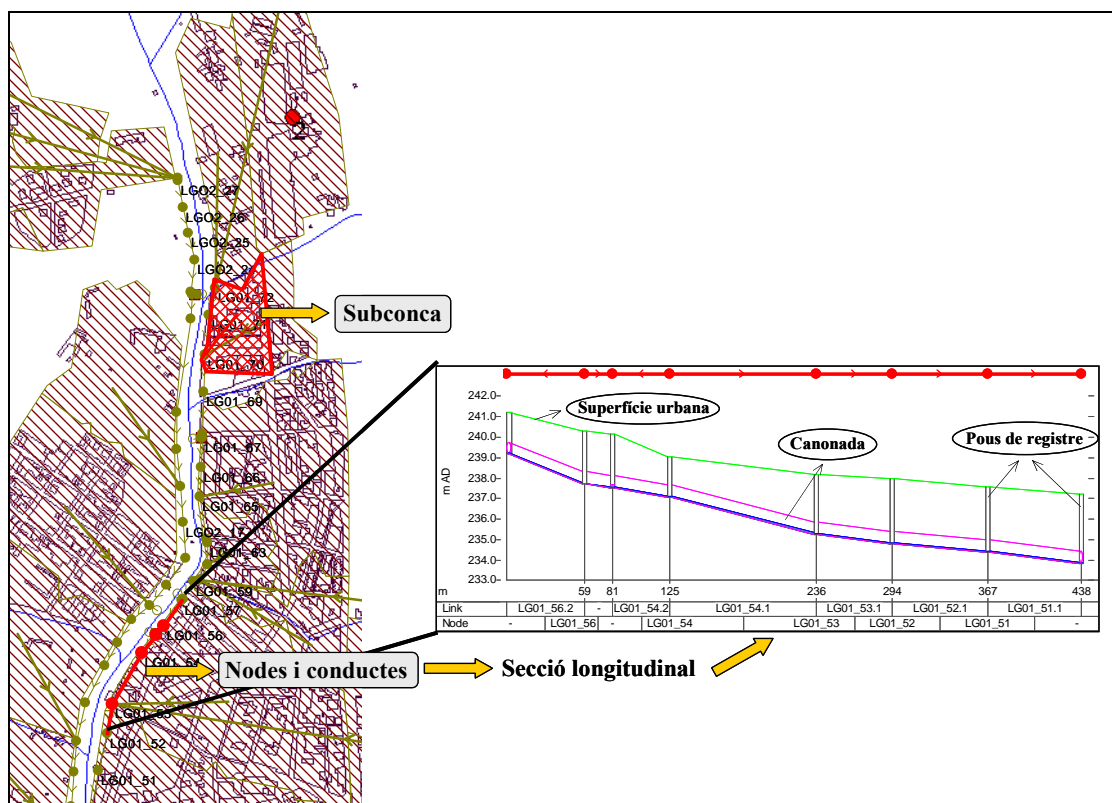


Figura 3.9. Exemples d'elements principals en la xarxa de clavegueram de La Garriga.

Els conductes poden ser simulats segons la seva forma, assignant-hi diferents valors de rugositat segons el material utilitzat en la seva construcció. A cada subconca s'assignen valors mitjans de consums d'aigua i abocament de contaminants per càpita i per indústria, nombre d'habitants i d'indústries, coeficients d'infiltració, permeabilitat, etc. Aquesta informació és utilitzada pel model per fer els càlculs de l'aigua i la càrrega contaminant que arriba a la xarxa.

### 3.6.1.2. Model numèric

A nivell hidràulic, i de forma simplificada, el model es basa en les equacions de *Saint-Venant* (Yen, 1973) per simular la conservació de la massa i del moment en un conducte de secció constant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad [3.1]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \cos \theta \frac{\partial x}{\partial y} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0 \quad [3.2]$$

On:

Q = cabal ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

A = secció ( $\text{m}^2$ )

g = gravetat ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$\theta$  = angle del llit respecte l'horitzontal (graus)

$S_0$  = pendent del llit

K = funció de transvasament

El model de qualitat de l'aigua funciona en paral·lel al model hidràulic i per a cada temps d'inferència els càlculs, simplificats, es donen a tres nivells:

- a) El model de xarxa calcula la concentració de contaminants dissolts i de la matèria en suspensió (MES) en tots els nodes, a través de l'equació de conservació de massa:

$$\frac{dM_j}{dt} = \sum_i Q_i C_i + \frac{dM_{sj}}{dt} - \sum_0 Q_0 C_0 \quad [3.3]$$

On:

$M_j$  = massa de MES o del contaminant dissolt en el node j (Kg)

$Q_i$  = cabal en el node j, que prové de la connexió i ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$C_i$  = concentració en  $Q_i$  ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$M_{sj}$  = massa addicional que entra al node j des de fonts externes (Kg)

$Q_0$  = cabal cap a la connexió i, que prové del node j ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$C_0$  = concentració en  $Q_0$  ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

- b) El model de condeute calcula la concentració de contaminants dissolts i de la matèria en suspensió (MES) en els conductes:

$$\frac{dC}{dt} + u \frac{dC}{dx} = 0 \quad [3.4]$$

On:

$C$  = concentració ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$u$  = velocitat del cabal ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$t$  = temps (s)

$x$  = coordenada espacial (m)

- c) El model de condeute calcula la erosió i la deposició de sediment en els conductes, en base al model *Ackers White* (Ackers, 1991):

$$C_v = J \left( \frac{W_e R}{A} \right)^\alpha \left( \frac{d_{50}}{R} \right)^\beta \lambda_c^\gamma \left\{ \frac{|u|}{\sqrt{g(s-1)R}} - K \lambda_c^\gamma \left( \frac{d_{50}}{R} \right)^\delta \right\}^m \quad [3.5]$$

$$D_{gr} = d_{50} \left( \frac{g(s-1)}{v^2} \right)^{1/3} \quad [3.6]$$

On:

$C_v$  = capacitat de càrrega adimensional. Representa la màxima concentració de sediment que pot suportar el cabal.

$\lambda_c$  = factor de fricció

$R$  = radi hidràulic ( $A/P_0$ ) (m)

$P_0$  = perímetre humit (m)

$W_e$  = amplada del llit efectiva (m)

$A$  = secció transversal cabal ( $\text{m}^2$ )

$U$  = velocitat cabal ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$V$  = viscositat cinemàtica de l'aigua ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$g$  = gravetat ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$s$  = gravetat específica de la fracció de sediment

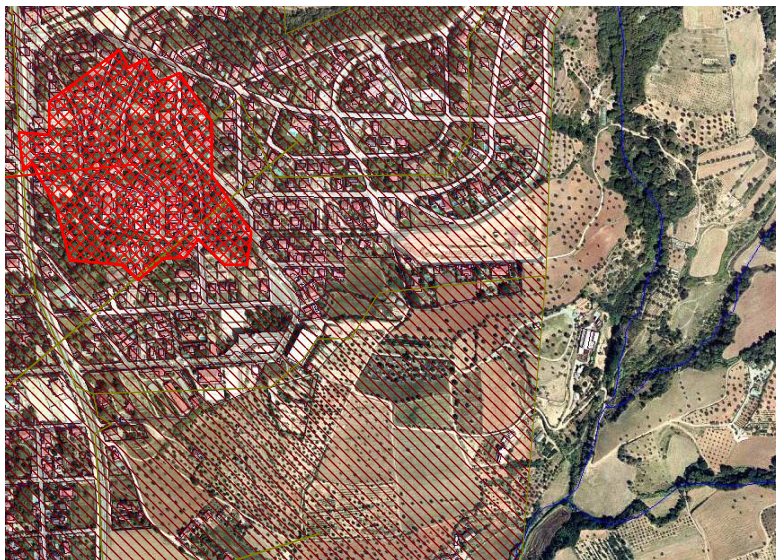
$d_{50}$  = mida mitjana de la partícula del sediment (m)

Quan la concentració actual és major que la concentració màxima, l'excés de sediment es diposita. En cas contrari, el sediment dipositat és erosionat fins que les concentracions s'igualen (Wallingford Software Ltd, 1994).

### 3.6.1.3. Construcció dels models de La Garriga i Granollers

El primer pas en la implementació d'un model de clavegueram, és la digitalització de les dades físiques de la xarxa (veure apartat 3.5.1.). El CDCRB disposa d'un SIG per les xarxes de La Garriga i Granollers, on es georeferencien tots els nodes i conductes. Aquestes dades s'han importat a InfoWorks CS a través del programa ArcView. Pel que fa a les subconques, el CDCRB disposava d'un estudi de les àrees d'influència de cada node, en format AutoCAD, informació que també s'ha importat directament a InfoWorks CS.

A continuació s'han assignat, a cada subconca, el nombre d'habitants i un percentatge de l'àrea impermeable. Aquest percentatge és molt variable depenent dels usos del sòl (urbà, semiurbà, industrial o agrícola). Per calcular-lo s'han utilitzat les eines d'anàlisi geogràfica d'ArcView, superposant les fotografies aèries de la zona i les subconques, de forma que s'ha pogut determinar, per a cada subconca, la superfície pavimentada o impermeable (Figura 3.10).



**Figura 3.10.** Fotografia aèria de La Garriga amb exemple d'àrea tipus semiurbana.

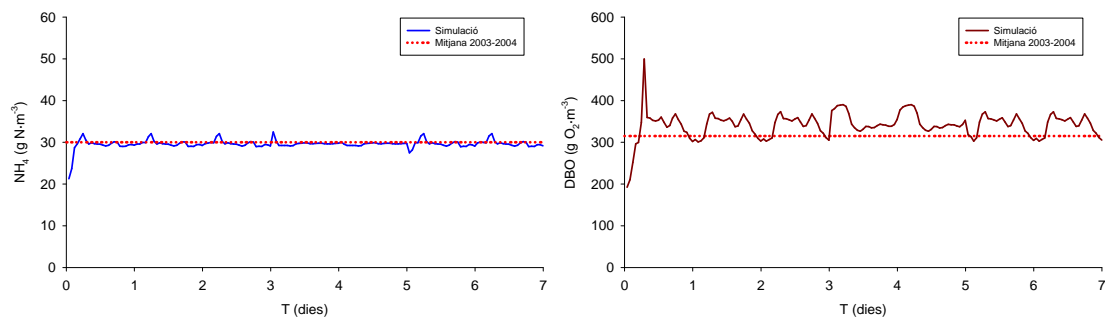
El següent pas és assignar el consum mitjà d'aigua per habitant i dia, i la composició tipus de l'aigua residual per a cada sistema. S'ha considerat inclosa en aquests consums i càrregues l'aportació de la majoria de les indústries, exceptuant aquelles amb un major potencial de contaminació. Aquestes darreres s'han introduït, individualment, per avaluar-les de forma separada i per poder realitzar hipòtesis d'abocaments més intensos en les simulacions d'escenaris posteriors. Com a indústries amb més potencial contaminant s'han considerat les del

Grup 1 de la classificació del CDCRB. Aquesta classificació segueix un sistema acumulable de punts segons si es compleixen o no una sèrie de criteris determinats (Taula 3.15).

**Taula 3.15.** Criteris de classificació del potencial contaminant de les indústries (CDCRB).

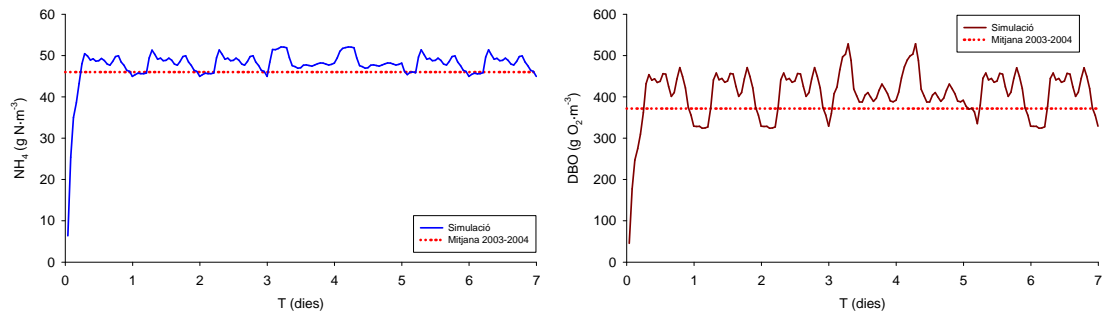
Criteri	Punts si la resposta és afirmativa
Les aigües de sortida tenen una DQO $\geq 1000$ g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> o presència de metalls pesants o dissolvents o olis i greixos?	1
En cas d'avaria en el seu sistema de depuració, hi hauria una incidència notable a l'EDAR corresponent al seu sistema i/o pot incidir negativament el seu abocament normal a l'EDAR, per les característiques específiques del sistema en el qual està connectada?	1
Te una potencialitat contaminant específica que pugui ocasionar un abocament puntual, encara que sigui per manipulació o accident involuntari?	1
Te un abocament aproximat $> 6000$ m <sup>3</sup> /any	1
El seu històric li permet baixar un punt?	-1

Segons aquest sistema de classificació, les indústries que acumulen la màxima puntuació pertanyen al Grup 1. En aquest grup s'inclouen 4 indústries al sistema de La Garriga i 19 al de Granollers. A partir de les coordenades UTM, s'ha ubicat cada indústria a la subconca corresponent. S'ha caracteritzat l'aigua residual abocada per cada indústria a partir de dades mitjanes, dels darrers 10 anys, de les anàlisis realitzades per l'ACA. Una vegada introduïdes aquestes dades, s'han ajustat els models de forma que els seus resultats (cabal i concentracions) fossin propers a les dades mitjanes anuals d'entrada a les EDAR de La Garriga i Granollers, en temps sec. Les dades reals utilitzades per ajustar els models corresponen al període 2003-2004 (Figures 3.11 i 3.12).



**Figura 3.11.** Concentracions simulades d'amoni i DBO a la sortida del sistema de clavegueram de La Garriga respecte als valors mitjans reals, d'entrada a l'EDAR, per al període 2003-2004.





**Figura 3.12.** Concentracions simulades d'amoni i DBO a la sortida del sistema de clavegueram de Granollers respecte als valors mitjans reals, d'entrada a l'EDAR, per al període 2003-2004.

Durant el procés d'ajustament s'ha modificat a l'alça el nombre d'habitants per subconca per tenir en compte l'aportament de les indústries (excepte les del grup 1). A La Garriga l'augment ha estat del 56% i a Granollers del 39%. També s'han ajustat els valors de consum d'aigua per habitant i dia i de composició de l'aigua residual (Taula 3.16).

**Taula 3.16.** Consums d'aigua per càpita i composició de l'aigua residual (urbana + industrial).

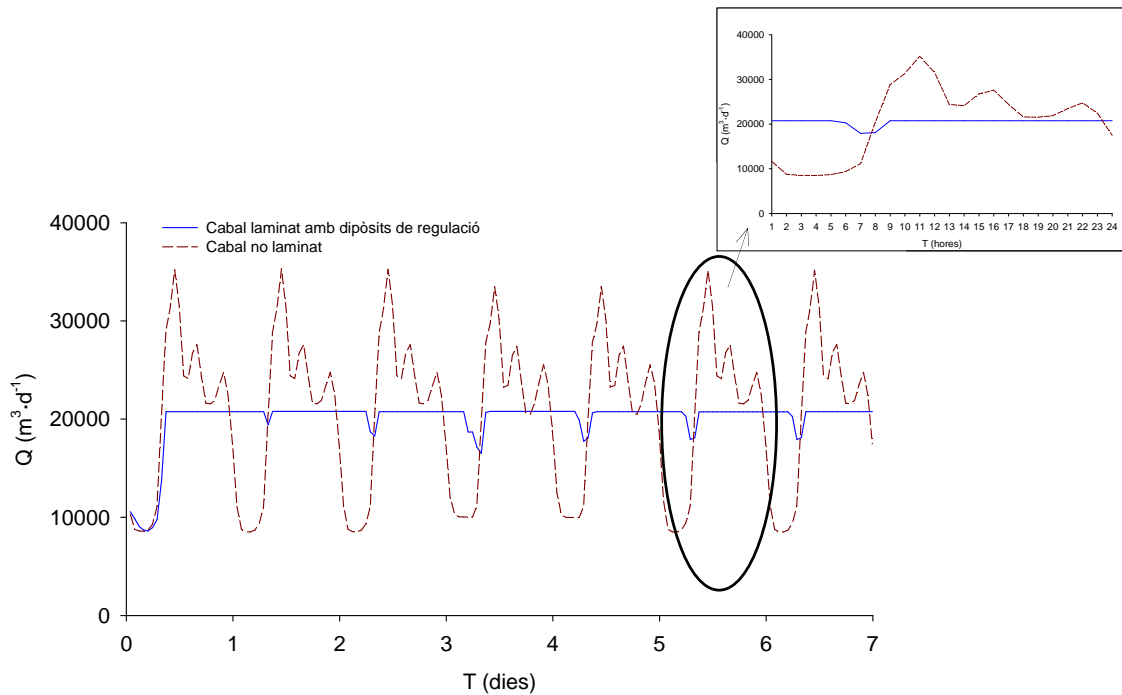
Paràmetre	Valor inicial (Metcalf i Eddy, 2003)	Valor ajustat per a La Garriga	Valor ajustat per a Granollers
Consum d'aigua (l/habitant i dia)	-	160	160
DBO ( $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ )	375	300	300
DQO ( $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ )	875	510	570
NKT ( $\text{g N} \cdot \text{m}^{-3}$ )	81.25	55.8	62.5
$\text{NH}_4$ ( $\text{g N} \cdot \text{m}^{-3}$ )	50	30	45
Fòsfor total ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	9.4	6.3	9.3
MES ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	437.5	300	394

Una vegada finalitzat el procés d'ajustament s'han introduït en els models les modificacions pertinents, per poder simular les situacions definides en els escenaris. D'entre aquestes modificacions (veure apartat 4.2), cal destacar la introducció dels dipòsits de regulació.

#### 3.6.1.3.1. Els dipòsits de regulació

Els dipòsits de regulació tenen la funció de retenir, temporalment, el primer pic de cabal de pluja que, per escorrentia, entra al sistema. Aquest primer pic sol ser el que porta més concentració de contaminants, ja que és el causant del procés de "rentat" sobre la superfície urbana, arrossegant tots els sòlids acumulats amb el temps. Una altra funció dels dipòsits, en temps sec, seria la de laminació dels cabals d'entrada a les EDAR. A causa dels hàbits de consum urbans i als horaris industrials, el perfil diari de generació d'aigües residuals sol ser molt variable. Els dipòsits poden actuar com a laminadors, retenint el cabal excessiu en els

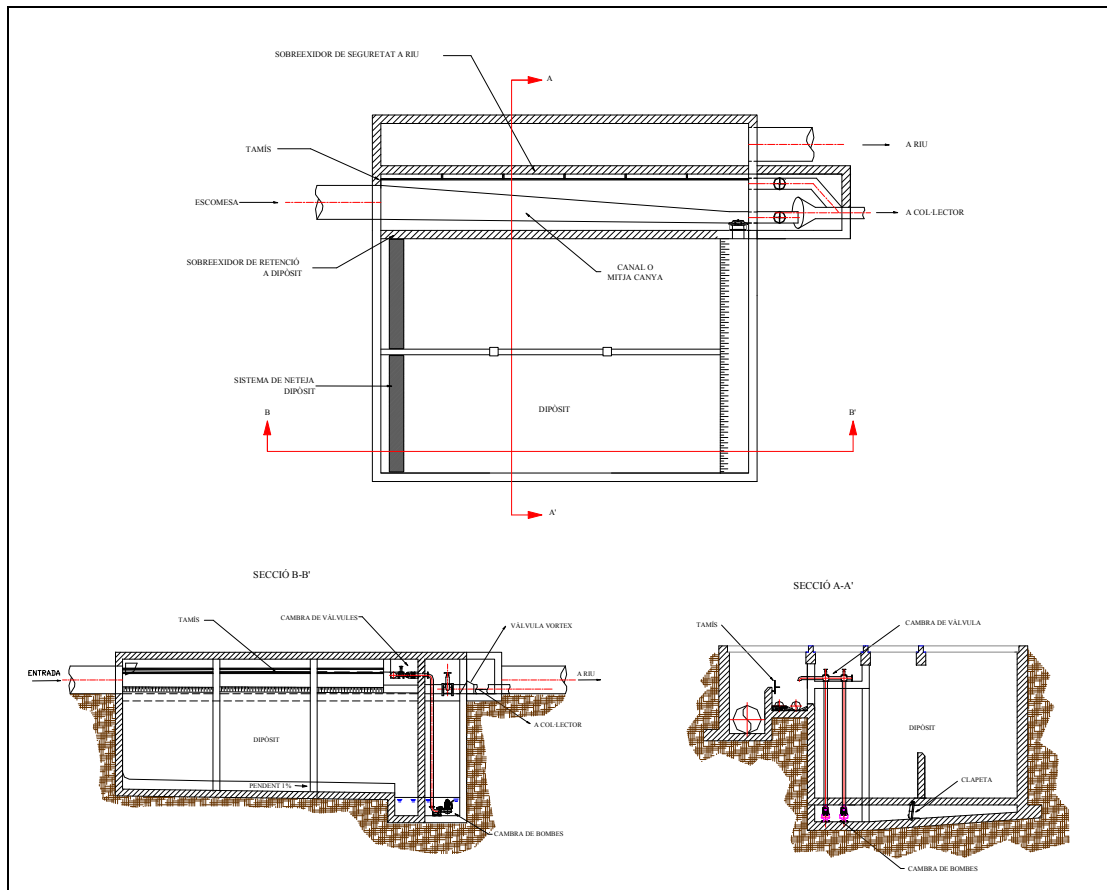
horaris punta de generació d'aigües residuals i descarregant més cabal en els horaris vall (Figura 3.13).



**Figura 3.13.** Simulació amb Infoworks CS del cabal de sortida del sistema de clavegueram de Granollers. Perfil setmanal.

Finalment una tercera funció també pot ser atribuïble als dipòsits de regulació: la de l'espasmolisme dels episodis de contaminació que hi puguin haver. Seguint el mateix principi que en la laminació de cabals, es poden suavitzar els pics de concentració provocats per abocaments puntuals a la xarxa.

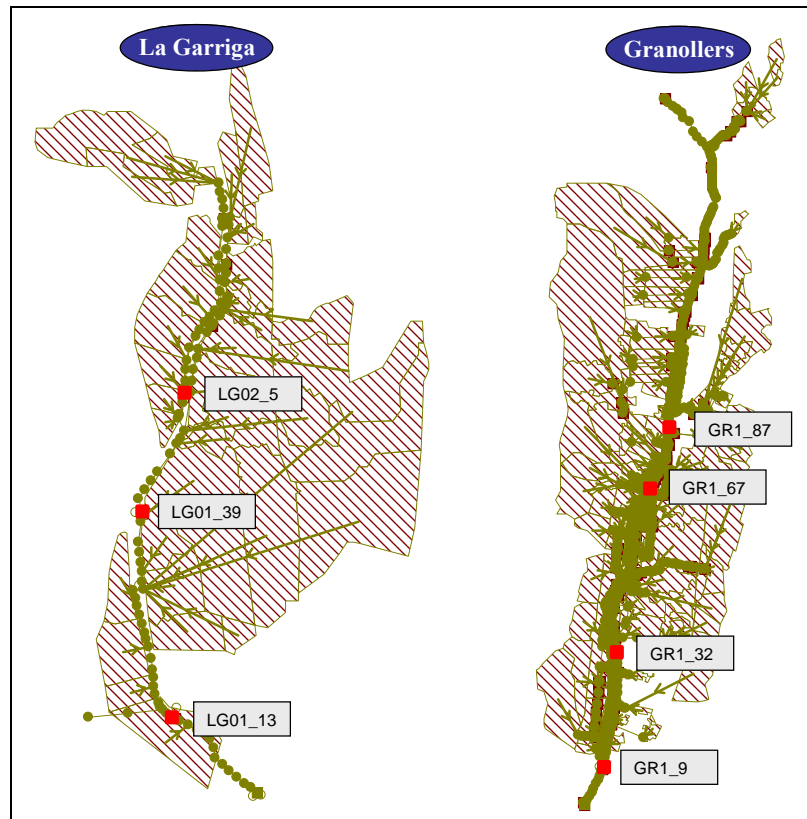
El CDCRB ha fet diversos estudis amb l'objectiu de construir dipòsits de regulació de pluvials a les xarxes de clavegueram, amb propostes concretes del seu funcionament i capacitat (Figura 3.14).



**Figura 3.14.** Proposta de construcció de dipòsits de regulació. Planta i seccions (CDCRB).

Per aquesta raó s'han implementat els dipòsits de regulació en el model, com a un element més a tenir en compte en la simulació d'escenaris.

El principal criteri d'ubicació dels dipòsits ha estat el de divisió de la xarxa en subzones de control d'abocaments i de recollida de pluvials. D'aquesta forma, cada dipòsit controla, de forma independent, una zona de la xarxa de clavegueram. S'ha triat aquesta opció, front a la d'un únic dipòsit al final de la xarxa, perquè permet acotar millor els abocaments industrials i per evitar la dependència d'un únic dipòsit. També s'ha tingut en compte, a l'hora d'ubicar els dipòsits, que les característiques de la xarxa permetessin la construcció subterrània d'aquests. En la Figura 3.15 es presenten els emplaçaments elegits, en els dos sistemes, seguint les consideracions anteriors.



**Figura 3.15.** Ubicació dels dipòsits de regulació en els sistemes de clavegueram.

Les característiques principals de funcionament dels dipòsits han estat adequades a les capacitats d'Infoworks CS i s'ha decidit el seu dimensionament en base a la opinió dels experts del CDCRB. Tenint en compte aquests criteris s'ha decidit implementar els dipòsits amb les característiques següents (Taula 3.17):

**Taula 3.17.** Capacitat i dimensions dels dipòsits de regulació.

Sistema	Dipòsit	Capacitat màxima (m <sup>3</sup> )	Dimensions: base (m <sup>2</sup> ) x alçada (m)
La Garriga	LG02_5	2160	400 x 5.4
	LG01_39	2300	500 x 4.6
	LG01_13	2520	700 x 3.6
Granollers	GR1_87	4800	1000 x 4.8
	GR1_67	7500	1500 x 5
	GR1_32	7500	1500 x 5
	GR1_9	13250	2500 x 5.3

Una vegada introduïdes les característiques físiques dels dipòsits en els models, s'ha ajustat el seu funcionament afegint-hi el sistema de descàrrega i sobreixidors de seguretat, que aboquen directament a riu. S'han implementat dos sistemes de descàrrega: un per laminar el cabal

d'entrada a EDAR en temps sec i un altre per regular els episodis de pluja (amb l'objectiu de minimitzar l'actuació dels sobreexidors de la xarxa):

#### Laminació del cabal d'entrada a EDAR.

S'ha simulat un sistema de bombament, amb cabal de descàrrega constant per a cada dipòsit. Per calcular aquest cabal, s'ha fet una anàlisi, a partir de simulacions en temps sec, dels perfils diaris de cabal d'entrada als dipòsits. A partir d'aquestes dades s'ha calculat el cabal mitjà d'entrada, el qual s'ha incrementat en un 5% per convertir-lo en el cabal de descàrrega constant de cada dipòsit. L'objectiu d'aquest augment del 5% és el de garantir que els dipòsits s'acaben buidant del tot en els moments de menys entrada i evitar, així, l'acumulació d'aigua als dipòsits al llarg del temps. D'aquesta forma es pot observar el perfil típic d'un cabal laminat, amb una disminució del cabal al final del període de mínima entrada, normalment entre les 2 i les 6 h de la matinada (veure Figura 3.13). En la Taula 3.18 es detallen els cabals de descàrrega calculats per a cada dipòsit.

**Taula 3.18.** Cabal de descàrrega dels dipòsits de regulació.

Sistema	Dipòsit	Cabal de descàrrega ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )
La Garriga	LG02_5	0.006
	LG01_39	0.023
	LG01_13	0.042
Granollers	GR1_87	0.055
	GR1_67	0.094
	GR1_32	0.194
	GR1_9	0.241

#### Regulació de pluges.

S'ha simulat un sistema de bombament, amb cabal de descàrrega variable per a cada dipòsit. Per regular la variació del cabal de descàrrega s'ha implementat un sistema de control sobre el nivell de l'aigua en els dipòsits, de forma que s'incrementi la descàrrega a mesura que s'incrementa el nivell de l'aigua. Per fer els càlculs de relació entre nivells d'aigua i cabals de descàrrega als dipòsits, s'ha simulat un episodi de pluja real, de 23 mm en 12 hores, recollit a Granollers al 1988. Utilitzant aquest episodi s'han fet diverses simulacions amb l'objectiu d'ajustar els cabals de descàrrega per maximitzar l'aprofitament dels dipòsits. En la Taula 3.19 es detallen els cabals de descàrrega respecte als nivells dels dipòsits.

**Taula 3.19.** Cabals de descàrrega respecte al nivell de l'aigua en els dipòsits.

Sistema	Dipòsit	Nivell (m)	Cabal de descàrrega (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
La Garriga	LG02_5	0 – 0.35	0.006
		0.36 – 2.35	0.012
		2.36 – 4.35	0.024
		> 4.35	0.05
	LG01_39	0 – 0.60	0.023
		0.61 – 2.20	0.046
		2.21 – 4	0.09
		> 4	0.18
	LG01_13	0 – 0.60	0.042
		0.61 – 1.70	0.084
		1.71 – 3	0.16
		> 3	0.32
Granollers	GR1_87	0 – 0.38	0.055
		0.39 – 2.18	0.11
		2.19 – 3.98	0.257
		> 3.98	0.5
	GR1_67	0 – 0.48	0.094
		0.49 – 2.28	0.188
		2.29 – 4.08	0.376
		> 4.08	0.650
	GR1_32	0 – 0.69	0.194
		0.70 – 2.39	0.388
		2.40 – 4.09	0.776
		> 4.09	1
	GR1_9	0 – 0.50	0.241
		0.51 – 2.50	0.482
		2.51 – 4.5	0.964
		> 4.5	1.3

### 3.6.2. EDAR

#### 3.6.2.1. Programa utilitzat

Les dues EDAR han estat modelitzades amb el programa GPS-X de Hydromantis, Inc. GPS-X permet fer simulacions dinàmiques de tractaments d'aigües residuals i disposa d'un gran nombre de models que cobreixen virtualment tots els processos que es produeixen a les EDAR, incloent-hi models avançats de reducció de nutrients, operacions amb biofilm, reactors anaerobis, models de decantadors primaris i secundaris i algunes unitats pel tractament de fangs.

GPS-X està construït a partir del simulador ACSL i permet actualitzar dades d'un sistema SCADA automàticament (Olsson i Newell, 1999).

### 3.6.2.2. Model numèric

En les configuracions de les dues plantes modelitzades (La Garriga i Granollers) els principals elements que es tenen en compte són: decantador primari, reactor biològic i decantador secundari, per simular un procés de fangs activats. En aquest tipus de procés és en el reactor biològic on es donen totes les reaccions capaces de transformar els components de l'aigua residual. En els decantadors només es produeix una separació per gravetat dels sòlids presents a l'aigua.

En la modelització del reactor biològic, els canvis produïts al seu interior, són deguts als processos de creixement, mort de la biomassa i consum de substrat a causa de l'activitat bacteriana. Tenint en compte només el substrat soluble (S) i la concentració de biomassa al reactor (X), com a variables d'estat, aquests processos es poden representar, de forma simplificada, de la següent forma (Balaguer *et al.*, 1998):

1. Creixement de la biomassa.

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad [3.7]$$

On:

$v_{\text{creixement}}$  = velocitat de creixement ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ )

$\mu$  = velocitat específica de creixement ( $\text{d}^{-1}$ )

$X$  = concentració de biomassa ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$S$  = concentració de substrat ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$\mu_{\max}$  = velocitat específica màxima de creixement ( $\text{d}^{-1}$ )

$K_s$  = constant de saturació ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

2. Metabolisme endogen.

$$v_{\text{mort}} = K_d X \quad [3.8]$$

On:

$v_{\text{mort}}$  = velocitat de descomposició endògena ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ )

$K_d$  = coeficient de descomposició endògena ( $\text{d}^{-1}$ )

$X$  = concentració de biomassa ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

## 3. Consum de substrat.

$$v_{\text{consum de S}} = -\frac{1}{Y} \mu X \quad [3.9]$$

On:

$v_{\text{consum de S}}$  = velocitat de consum de substrat ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ )

$Y$  = rendiment (g biomassa / g de substrat consumit)

$\mu$  = velocitat específica de creixement ( $\text{d}^{-1}$ )

$X$  = concentració de biomassa ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

A partir de l'equació de balanç de matèria: Sortida - Entrada + Acumulació = Generació, per a cadascuna de les variables d'estat s'obté un balanç. En el balanç de biomassa es considera:

Sortides: efluent ( $Q_e X_e$ ) i purga ( $Q_w X_w$ )

Entrades: influent ( $Q_i X_i$ )

Acumulació:  $V \frac{dX}{dt}$

$$\text{Generació: } V[v_{\text{creixement}} - v_{\text{mort}}] = V \left[ \frac{\mu_{\text{max}} S}{K_s + S} X - K_d X \right] \quad [3.10]$$

$$[Q_e X_e + Q_w X_w] - Q_i X_i + V \frac{dX}{dt} = V \left[ \frac{\mu_{\text{max}} S}{K_s + S} X - K_d X \right] \quad [3.11]$$

En el balanç de substrat es considera:

Sortides: efluent ( $Q_e S_e$ ) i purga ( $Q_w S_w$ )

Entrades: influent ( $Q_i S_i$ )

Acumulació:  $V \frac{dS}{dt}$

$$\text{Generació: } V v_{\text{consum de S}} = V \left[ -\frac{1}{Y} \mu X \right] = V \left[ -\frac{1}{Y} \frac{\mu_{\text{max}} S}{K_s + S} X \right] \quad [3.12]$$

$$[Q_e S_e + Q_w S_w] - Q_i S_i + V \frac{dS}{dt} = V \left[ -\frac{1}{Y} \frac{\mu_{\text{max}} S}{K_s + S} X \right] \quad [3.13]$$

On, per a cadascuna de les equacions utilitzades:



$Q_i, Q_w, Q_e$  = cabals d'entrada, purga i sortida respectivament. El cabal d'entrada fa referència a la sortida del decantador primari.

$S_i, S_w, S_e$  = concentració de substrat a l'entrada, purga i sortida respectivament.

$V$  = volum del reactor biològic.

$v_i$  = velocitat de reacció del procés  $i$ .

El sistema d'equacions diferencials format per les equacions 3.11 i 3.13 descriu el comportament de les dues variables d'estat escollides. Amb l'objectiu de simplificar la presentació d'aquestes equacions diferencials, s'utilitza la matriu de Petersen. La matriu de Petersen és una forma per representar un model de forma senzilla i intuïtiva. Només es presenta el terme de generació del balanç de matèria ja que els altres termes (entrada, sortida i acumulació) es poden deduir més fàcilment. En la Taula 3.20 es pot veure la matriu de Petersen pel model simplificat. Els processos (creixement i mort) es troben en les files de la matriu i les variables d'estat (biomassa i substrat) en les columnes. En la última columna s'indiquen les velocitats de reacció de cadascun dels processos considerats.

**Taula 3.20.** Esquema de la matriu de Petersen per un model simplificat del reactor biològic.

Processos \ Variables d'estat	X	S	Velocitat de reacció
Creixement	+1	$-\frac{1}{Y}$	$\frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X$
Mort	-1	-	$K_d X$
<b>Coefficients estequiomètrics</b>	Biomassa	Substrat	<b>Paràmetres cinètics</b>
Y, rendiment			$\mu_{\max}, K_s, K_d$

El programa GPS-X incorpora diversos models matemàtics molt més complexes, amb una descripció més precisa dels processos que tenen lloc en un reactor biològic. El model utilitzat per a les EDAR de La Garriga i Granollers ha estat el *Activated Sludge Model* N°1 (ASM1) (Henze *et al.*, 1987). L'ASM1 és un model àmpliament utilitzat, es basa en la DQO per mesurar la matèria orgànica, contempla les reaccions de nitrificació i desnitrificació i considera dos tipus de biomassa (heterotròfica i autotròfica) en funció de la font d'energia utilitzada i de si les condicions són aeròbiques o anòxiques. En la Taula 3.21 es presenta la matriu de Petersen per a l'ASM1, en la última fila de la qual es detallen les diferents variables d'estat considerades.

Respecte als processos de decantació, s'ha utilitzat el model anomenat simple1d del programa GPS-X, on la velocitat de sedimentació es representa amb una doble funció exponencial (Takács *et al.*, 1991). Aquest model considera que no es produeixen reaccions biològiques de cap tipus.

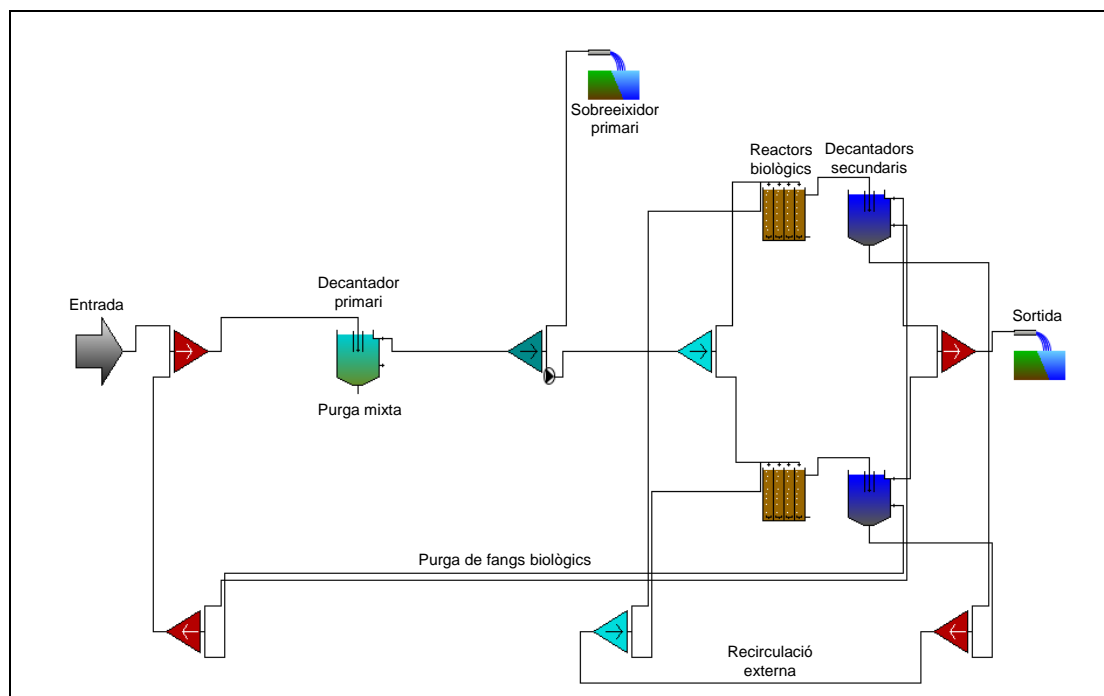
Taula 3.21. Matriu de Petersen per a l'ASM1 (Henze *et al.*, 1987).

Components		i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Velocitat de reacció ( $r_j$ )
j	Processos	$S_i$	$S_s$	$X_i$	$X_s$	$X_{BH}$	$X_{BA}$	$X_P$	$S_O$	$S_{NO}$	$S_{NH}$	$S_{ND}$	$X_{ND}$	$S_{ALK}$		
1	Creixement aeròbic dels heteròtròfics		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$			$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_{\max H} \left( \frac{S_s}{K_s + S_s} \right) \left( \frac{S_0}{K_0 + S_0} \right) X_{BH}$
2	Creixement anòxic dels heteròtròfics		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{2.86Y_H}$			$-i_{XB}$			$-\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2.86Y_H}$ $\frac{i_{XN}}{14}$	$\mu_{\max H} \left( \frac{S_s}{K_s + S_s} \right) \left( \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_{OH}} \right) \left( \frac{S_0}{K_0 + S_0} \right) \eta_g X_{BH}$
3	Creixement aeròbic dels autotròfics						1		$-\frac{4.57-Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$		$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7Y_A}$	$\mu_{\max A} \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{S_0}{K_{OA} + S_0} \right) X_{BA}$
4	Mort dels heteròtròfics				$1-f_P$	$-1$		$f_P$						$\frac{i_{XP}}{f_P i_{XP}}$		$b_H X_{BH}$
5	Mort dels autotròfics				$1-f_P$		$-1$	$f_P$						$\frac{i_{XP}}{f_P i_{XP}}$		$b_A X_{BA}$
6	Amonificació del nitrogen orgànic soluble										1	$-1$		$\frac{1}{14}$		$K_0 S_{ND} X_{BH}$
7	Hidròlisi dels compostos orgànics		1		$-1$											$K_H \frac{X_s / X_{BH}}{K_X + (X_s / X_{BH})} \left( \frac{S_0}{K_{OH} + S_0} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_{OH}} \right) \left( \frac{S_0}{K_0 + S_0} \right) X_{BH}$
8	Hidròlisi del nitrogen orgànic												1	$-1$		$r_7 (X_{ND} / X_s)$
		Matèria orgànica soluble inert (mg DQO/l)	Substrat fàcilment biodegradable (mg DQO/l)	Matèria orgànica particulada inert (mg DQO/l)	Substrat lentament biodegradable (mg DQO/l)	Biomassa heterotròfica activa (mg DQO/l)	Biomassa autotròfica activa (mg DQO/l)	Partícules no biodegradables de la mort de la biomassa (mg DQO/l)	Oxigen [DQO negativa] (mg DQO/l)	Nitrogen nitrat i nitrit (mg N/l)	Nitrogen $NH_4^+$ i $NH_3$ (mg N/l)	Nitrogen orgànic soluble biodegradable (mg N/l)	Nitrogen orgànic particulat biodegradable (mg N/l)	Alcalinitat		

### 3.6.2.3. Construcció dels models de La Garriga i Granollers

#### 3.6.2.3.1. EDAR La Garriga

La primera etapa del disseny del model amb GPS-X és la introducció de la configuració de l'EDAR. S'han de dimensionar els elements principals o els elements que es volen modelitzar (decantadors primaris, reactors, decantadors secundaris, etc.) i s'han de definir les relacions entre ells (entrada/sortida o recirculacions). Per a cada element, s'han de detallar les dades físiques corresponents: dimensions i capacitats de bombament. També s'han d'introduir els cabals de recirculació, la purga i el tipus d'aeració (amb controls si s'escau). En la Figura 3.16 es presenta un esquema de l'adaptació, amb GPS-X, de la configuració de la línia d'aigües de la planta real de La Garriga.



**Figura 3.16.** Esquema de l'EDAR de La Garriga en GPS-X.

Un cop s'ha introduït la configuració de l'EDAR en el model, s'han d'incorporar les dades de l'influent. Un dels objectius del projecte és el d'aconseguir simulacions contínues a través del conjunt de models, per poder plantejar diferents escenaris (apartat 4.2). Per aquesta raó, per caracteritzar l'influent, s'han utilitzat les dades de sortida de la simulació de la situació de referència, en el model de clavegueram de La Garriga. Les dades de sortida del model de clavegueram han estat ajustades en base a les dades reals d'entrada a l'EDAR, per al període 2003-2004. Les variables d'entrada que s'introdueixen són: cabal, DBO, MES i NKT, amb una freqüència horària.

Amb aquestes dades d'entrada, els resultats de la simulació, respecte a valors mitjans, són suficientment propers a les dades reals mitjanes de qualitat de l'aigua, per al període 2003-2004. Els rendiments d'eliminació reals a l'EDAR de la Garriga són molt elevats. Per al 2003-2004 les concentracions mitjanes d'amoni i DBO a l'efluent (paràmetres de referència en l'anàlisi dels escenaris de l'apartat 4.4) han estat de  $5.1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  i  $7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  respectivament, mentre que els resultats mitjans de la simulació són de  $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  i  $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  respectivament. S'han utilitzat els paràmetres cinètics i estequiomètrics per defecte del ASM1, considerant que un ajustament més fi no era necessari per als objectius del projecte.

A partir d'aquí, s'han introduït les modificacions necessàries per poder simular els escenaris definits en l'apartat 4.2. Cal destacar una modificació que ha afectat al procés de nitrificació en un dels escenaris. L'objectiu d'aquest era el de simular una inhibició d'aquest procés i amb aquesta finalitat s'han modificat els paràmetres representats en la Taula 3.22. Aquests paràmetres afecten directament al procés de creixement dels microorganismes autotròfics, tal i com es pot veure en la matriu de Petersen de la Taula 3.21.

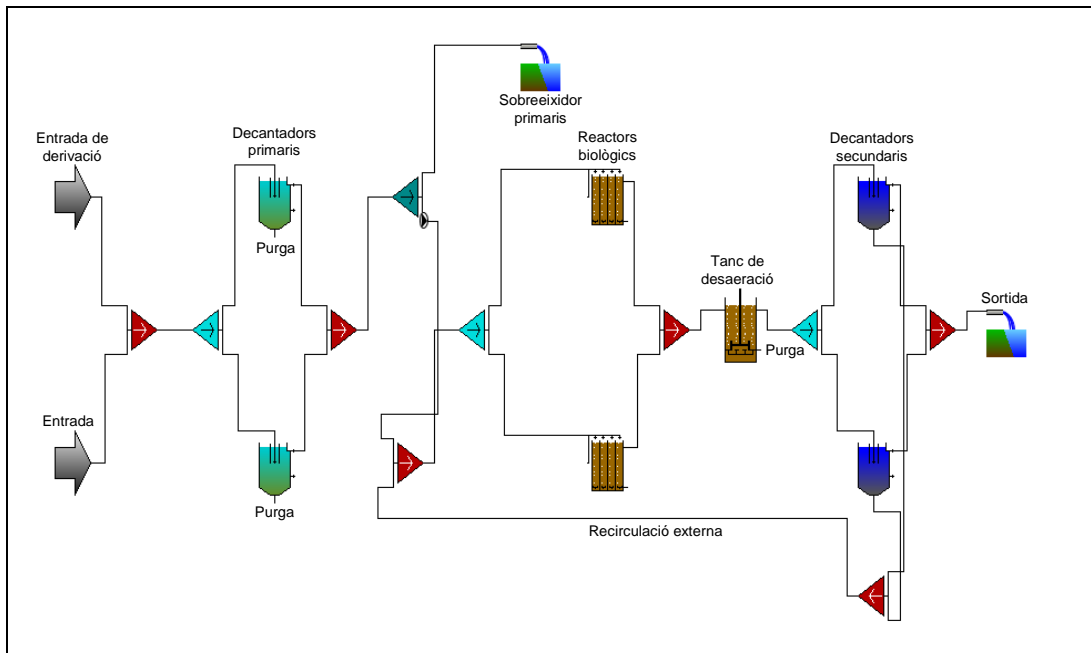
**Taula 3.22.** Modificacions per inhibir la nitrificació.

Paràmetre	Símbol	Valor per defecte (ASM1)	Valor modificat
Taxa de creixement màxim dels microorganismes autotròfics	$\mu_{\max A}$	0.8	0
Rendiment dels microorganismes autotròfics	$\lambda_A$	0.24	0.01

Per simular la resta dels escenaris només s'han modificat les variables d'entrada.

#### 3.6.2.3.2. EDAR Granollers

En la introducció de les dades de la configuració de l'EDAR Granollers s'han seguit els mateixos passos que en l'apartat 3.6.2.3.1. L'adaptació amb GPS-X de la configuració de la línia d'aigües de la planta real de Granollers es presenta en la Figura 3.17.



**Figura 3.17.** Esquema de l'EDAR Granollers en GPS-X.

Seguint el mateix procés que per al model de La Garriga, el següent pas ha estat el d'introduir les dades del influent de l'EDAR, que també són les dades de sortida de la simulació de la situació de referència en el model de clavegueram, en aquest cas de Granollers. El model de clavegueram també s'ha ajustat, prèviament, en base a les dades reals d'entrada a l'EDAR, per al període 2003-2004. Com a variables d'entrada s'introdueixen: cabal, DBO, MES i NKT, amb una freqüència horària.

Amb aquestes dades s'han fet successives simulacions amb l'objectiu d'ajustar el model en base a dades mitjanes reals de qualitat de l'aigua, calculades per al període 2003-2004. Els paràmetres ajustats es poden observar en la Taula 3.23.

**Taula 3.23.** Paràmetres ajustats per al model de l'EDAR Granollers.

Element de la planta	Paràmetre	Unitats	Valor per defecte	Valor modificat
Entrada	Matèria orgànica soluble inert ( $S_i$ )	g DQO·m <sup>-3</sup>	30	75
Reactor	Coefficient màxim de transferència d'oxigen als compartiments anòxics ( $K_{la\ max}$ )	1·d <sup>-1</sup>	300	140
	Coefficient màxim de transferència d'oxigen ( $K_{la\ max}$ )	1·d <sup>-1</sup>	300	240
	Coefficient de saturació mitja del substrat ràpidament biodegradable ( $K_s$ )	g DQO·m <sup>-3</sup>	20	60
	Taxa de desaparició dels heterotròfics ( $b_H$ )	1·d <sup>-1</sup>	0.62	0.4
	Taxa de creixement màxim dels microorganismes autotròfics ( $\mu_{max\ A}$ )	1·d <sup>-1</sup>	0.8	0.3
Decantador secundari	Índex volumètric de fangs (IVF)	ml·g <sup>-1</sup>	150	160
	Màxima velocitat de sedimentació (vbnd)	m·d <sup>-1</sup>	274	200
	Fracció no sedimentable (fns)	-	0.001	0.005

Les modificacions d'aquestes paràmetres responen a diferents criteris, sempre amb l'objectiu d'ajustar els rendiments d'eliminació simulats als rendiments reals. En el cas de la  $S_i$ , el valor modificat s'ajusta més a les característiques reals de l'influent ja que l'aportació industrial de Granollers fa que hi hagi més matèria orgànica soluble inert. Els valors de  $K_{la\ max}$  s'han ajustat d'acord amb les característiques tècniques dels bufadors de l'EDAR.

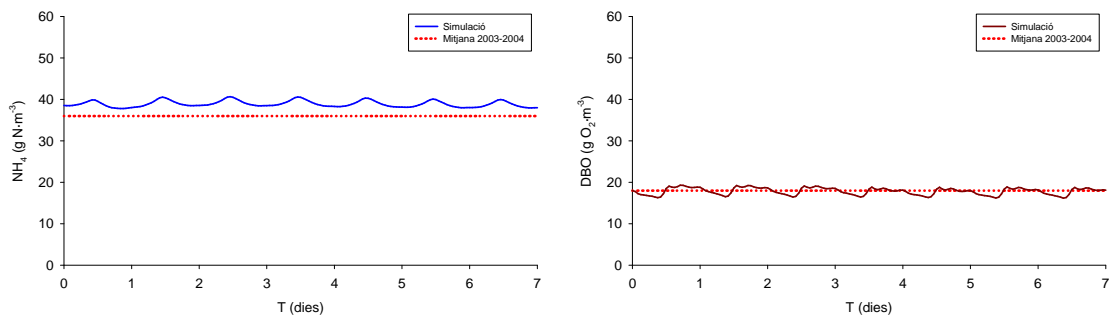
Les modificacions realitzades en els paràmetres  $K_s$  i  $b_H$  responen a la necessitat d'augmentar els rendiments d'eliminació de matèria orgànica. En canvi, la modificació en el paràmetre  $\mu_{max\ A}$ , s'ha fet per disminuir els rendiments d'eliminació de nitrogen.

Les modificacions fetes en els paràmetres IVF, vbnd i fns tenen l'objectiu de disminuir la capacitat de sedimentació dels sòlids en el decantador secundari.

Tots els paràmetres s'han ajustat manualment fins que els rendiments d'eliminació simulats fossin propers als reals. En el cas dels paràmetres  $K_s$ ,  $b_H$  i  $\mu_{max\ A}$ , s'han ajustat també tenint en compte uns rangs de variabilitat determinats (Hulsbeek *et al.*, 2002).

En la Figura 3.18 es presenten els resultats de la simulació per l'amoni i la DBO (paràmetres de referència en l'anàlisi dels escenaris de l'apartat 4.4), respecte als valors mitjans reals per al

període 2003-2004:  $36 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  d'amoni i  $18 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  de DBO. Aquest ajustament s'ha considerat suficient, tenint en compte els objectius del projecte.



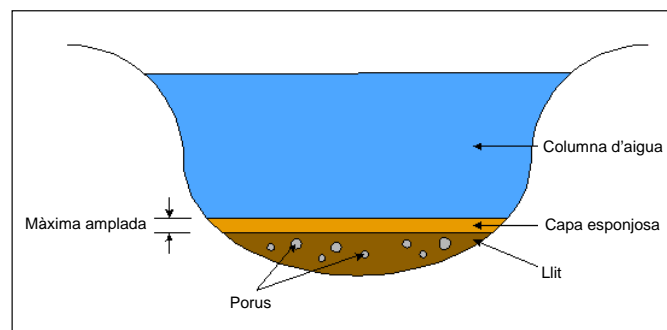
**Figura 3.18.** Concentracions simulades d'amoni i DBO a l'efluent de l'EDAR de Granollers respecte als valors mitjans reals per al període 2003-2004.

Una vegada finalitzat el procés d'ajustament s'han introduït les modificacions necessàries per simular els escenaris definits en l'apartat 4.2. L'única modificació, de les definides als escenaris, que afecta a la configuració de l'EDAR és la introducció d'una nova entrada, que pot provenir del sistema de La Garriga a través del canal de derivació (veure Figura 3.17). La resta d'escenaris es simulen modificant les variables d'entrada.

### 3.6.3. Riu

#### 3.6.3.1. Programa utilitzat

El tram del riu Congost ha estat modelitzat amb el programa InfoWorks RS. El programa conté un mòdul de qualitat de l'aigua, el qual està separat del mòdul hidràulic. Malgrat que aquest model dona resultats mitjans respecte a la profunditat de l'aigua, per al transport de fang i per la qualitat de l'aigua, cada element de càlcul es divideix en 4 sub-components verticals (Figura 3.19):



**Figura 3.19.** Estructura vertical del model.

- Columna d'aigua. Part principal en la qual es transporten les substàncies dissoltes i suspeses.
- Llit. Representa el fang consolidat que ha sedimentat de la columna d'aigua i que pot tornar a ser re-suspès.
- Capa esponjosa. Aquesta és una capa de fang menys densa situada a sobre del llit. Té una amplada limitada, a partir de la qual, cada vegada que rep sediments de la columna d'aigua una part proporcional de sediments passa al llit.
- Aigua dels porus. Quan el fang es consolida en el llit, l'aigua queda atrapada en porus. La taxa de transferència de substàncies dissoltes en l'aigua dels porus és proporcional a la taxa de deposició (Wallingford Software Ltd, 1994).

### 3.6.3.2. Model numèric

A nivell hidràulic, i de forma simplificada, el model utilitza les equacions de *Saint-Venant* (Yen, 1973), que expressen la conservació de la massa i del moment, per descriure el moviment de l'aigua en canals oberts:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad [3.14]$$

On:

Q = cabal ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

A = secció ( $\text{m}^2$ )

q = cabal d'entrada lateral ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - gAS_f = 0 \quad [3.15]$$

On:

$S_f$  és la pendent de fricció

$$S_f = \frac{Q|Q|}{K^2} \quad [3.16]$$

On:

K és la funció de transvasament, calculada segons l'equació de Manning:

$$K^2 = \frac{A^2 R^{4/3}}{n^2} \quad [3.17]$$



$$R = \frac{A}{P} \quad [3.18]$$

On:

R = radi hidràulic

P = llargada del perímetre humit

n = coeficient de rugositat de Manning

A continuació es mostren algunes de les equacions principals, de forma simplificada, que governen el mòdul de qualitat de l'aigua. El transport de contaminants es calcula a partir d'una aproximació diferencial finita de l'equació d'advecció-difusió:

$$\frac{\partial(CA)}{\partial t} = -\frac{\partial(uCA)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( DA \frac{\partial C}{\partial x} \right) + S \quad [3.19]$$

On:

C = concentració del contaminant ( $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

A = secció transversal del cabal ( $\text{m}^2$ )

u = velocitat mitjana del cabal en la secció transversal ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

D = coeficient de difusió ( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )

x = distància (m)

t = temps (s)

S = terme de generació, creixement, erosió, deposició, etc.

La degradació de la matèria orgànica i del nitrogen es representa amb una cinètica de primer ordre i inclou els processos de degradació del nitrogen orgànic i DBO, la hidròlisi del nitrogen orgànic per formar nitrogen amoniacal i la oxidació del nitrogen amoniacal per formar nitrat:

$$\frac{dC}{dt} = -KC \quad [3.20]$$

On:

K = constant de velocitat de reacció ( $\text{s}^{-1}$ )

C = concentració de matèria orgànica. ( $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

La constant de velocitat de reacció s'expressa en funció de la temperatura:

$$K_{\theta} = K_{20} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right)^{\theta-20} \quad [3.21]$$

On:

$\theta$  = temperatura

$K_{\theta}$  = constant de velocitat de reacció ( $s^{-1}$ ) a  $\theta$  °C

$K_{20}$  = constant de velocitat de reacció ( $s^{-1}$ ) a 20 °C

$\alpha$  = factor de dependència de la temperatura

En el cas de l'oxidació del nitrogen amoniacal per formar nitrit, la constant de velocitat de reacció és funció de la salinitat, de la concentració de sòlids i de la temperatura:

$$K_{AM\theta} = K_{AM20} \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right)^{\theta-20} \left(1 + \frac{\beta}{100}\right)^{S-S_0} \left(1 + \frac{Y}{100}\right)^{SS-SS_0} \quad [3.22]$$

On:

$S_0$  = salinitat de referència (ppt)

$SS_0$  = concentració de referència de sòlids suspesos (ppt)

$\beta$  = factor de dependència de la salinitat

$Y$  = factor de dependència dels sòlids suspesos

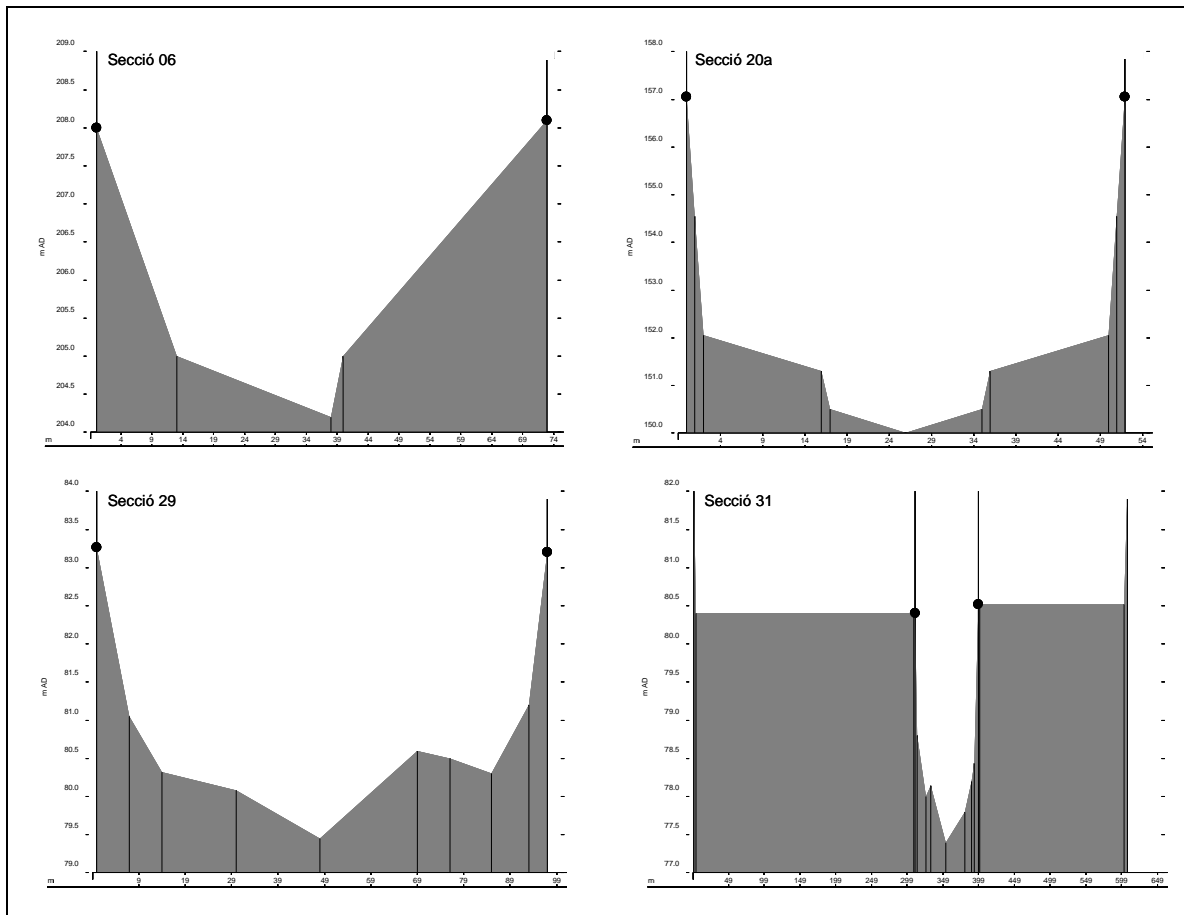
$K_{AM\theta}$  = constant de velocitat de nitrificació a  $\theta$  °C

$K_{AM20}$  = constant de velocitat de nitrificació a 20 °C

### 3.6.3.3. Construcció del model del Congost

El primer pas en la construcció del model de rius amb Infoworks RS, és la introducció de les dades morfològiques del riu. Aquest tipus d'informació física sol ser difícil d'obtenir i ha de garantir un mínim de precisió, ja que és la que determinarà les simulacions hidràuliques. Tota la informació morfològica del tram estudiat del riu Congost s'ha extret del *Pla director de protecció contra avingudes a la conca del Besòs* (Ruiz et al., 1999).

Infoworks RS conceptualitza el riu en petits trams de càlcul de secció constant i per a cada tram s'han d'introduir les dades d'una secció tipus, anomenada secció transversal. En el tram de riu estudiat s'han introduït 49 seccions transversals, delimitant els corresponents 49 trams (veure apartat 3.5.3). En la Figura 3.20 es presenten 4 exemples de seccions transversals.



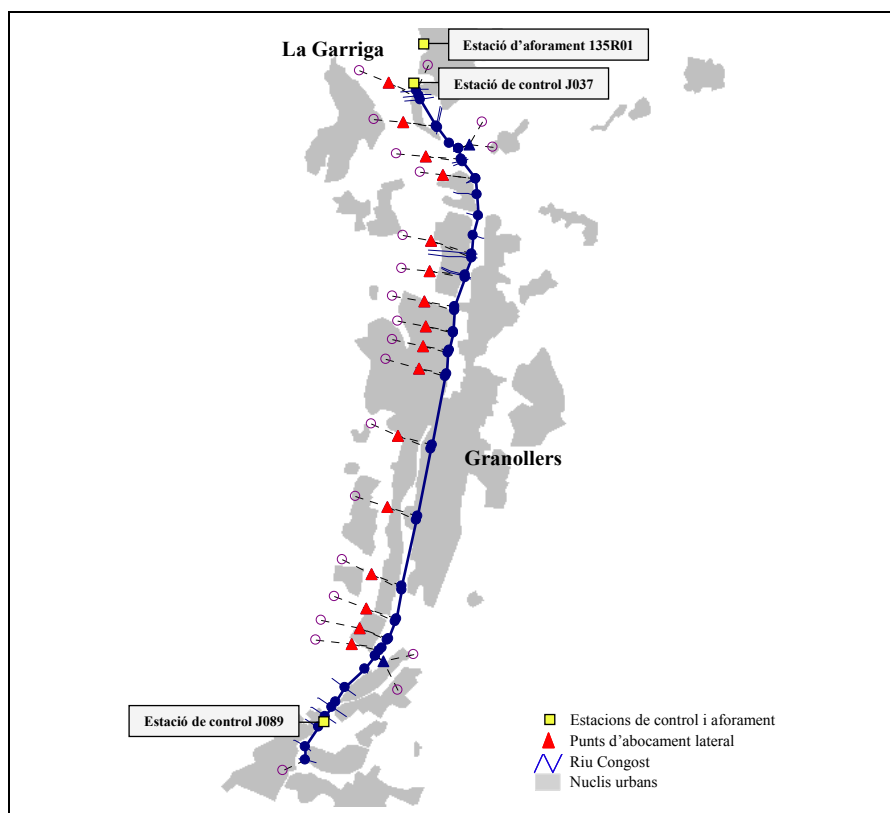
**Figura 3.20.** Seccions transversals del riu Congost. Secció 06: zona de Can Pla a La Garriga. Secció 20a: tram canalitzat al seu pas per Granollers. Secció 29: polígon industrial Pedregar, aigües avall de Granollers. Secció 31: polígon industrial Pedregar, al final del tram de riu estudiat.

Per a cada tram també s’han definit altres dades que afecten a la simulació hidràulica. D’entre les més rellevants cal destacar el pendent longitudinal i el coeficient de rugositat de Manning. Els valors de pendent longitudinal introduïts varien entre el 0.6% i el 1.5%, mentre que els coeficients de rugositat de Manning per al llit del riu es mouen tots en l’interval [0.035-0.060] (veure apartat 3.5.3).

El següent pas és definir els punts d’abocament lateral. En aquest cas, s’han d’introduir com a abocaments els efluent i *bypassos* de les dues EDAR i els sobreeixidors dels sistemes de clavegueram:

**Efluent i *bypass* EDAR.** El model d’EDAR pot donar resultats en dos sortides: efluent (aigua tractada amb tot el procés) i *bypass* (aigua que, quan es supera la capacitat màxima del reactor biològic, es deriva directament a riu, després de passar pel decantador primari). Per facilitar la integració d’aquests resultats amb el model de rius, s’han introduït per a cada EDAR dos abocaments en el mateix tram de riu, un per l’efluent i un pel *bypass*.

**Sobreeixidors sistema de clavegueram.** Quan en temps de pluja els sobreeixidors del sistema de clavegueram entren en funcionament, l'aigua abocada arriba directament a riu. Entre els dos sistemes de clavegueram hi ha 177 sobreeixidors simulats i, per a cadascun d'ells, el model de clavegueram pot donar resultats de cabal i qualitat de l'aigua. Introduir tots aquests punts d'abocament de forma individual en el model de rius, a part de ser costós, alentiria els temps de simulació i per això s'ha decidit agrupar tots els sobreeixidors en 16 punts d'abocament lateral al riu. S'han agrupat els sobreeixidors en funció de la seva proximitat a cadascun dels trams de riu modelitzats, de forma que tots els sobreeixidors que s'inclouen en un tram, s'agrupaven en un únic punt d'abocament lateral (Figura 3.21). Més endavant, en l'apartat 3.7, d'integració de models, s'expliquen els càlculs que es realitzen per agrupar els resultats dels sobreeixidors.



**Figura 3.21.** Punts d'abocament lateral al riu Congost.

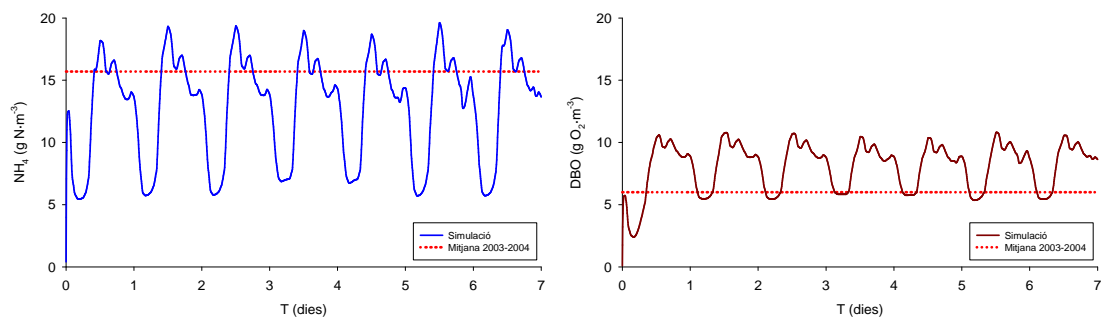
Una vegada introduïts els punts d'abocament s'han de definir les condicions inicials del riu. S'han utilitzat dades de cabal de l'estació d'aforament 135R01, situada a La Garriga, i respecte a la qualitat de l'aigua s'han utilitzat les dades de l'estació de control manual J037. En aquestes estacions manuals de control de la qualitat de l'aigua les mostres s'agafen mensualment, pel que es tenien molt poques dades per poder establir una mitjana per al període 2003-2004, tal i com s'havia fet fins ara amb els models anteriors. Per aquesta raó, s'han considerat els valors mitjans

de cabal i qualitat del període 1993-2003 (Taula 3.24), com a valors inicials del riu per a la situació de referència.

**Taula 3.24.** Condicions inicials del riu.

Paràmetre	Valor
Q	$0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
NH <sub>4</sub>	$0.55 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$
OD	$9.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
DBO	$3.9 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$
NO <sub>3</sub>	$12 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$
NO <sub>2</sub>	$0.3 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$
N orgànic	$0.3 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$
Algues (clorofil·la a)	$0.008 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
MES	$28.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
T	14.8 °C

Amb aquestes dades i les dades aportades pels altres models, per a la situació de referència, s'ha fet córrer el model. En la Figura 3.22 es presenten els resultats gràfics, per al NH<sub>4</sub> i la DBO, de la simulació de la situació de referència. Aquests resultats són per al punt de control D, situat al tram final del riu Congost.



**Figura 3.22.** Variació de les concentracions d'amoni i DBO al punt de control D del riu Congost, respecte als valors mitjans reals de l'estació de control J089.

Els resultats de la simulació de la situació de referència, al punt de control D, s'han comparat amb els de l'estació de control manual J089, que l'ACA té, a Montornès del Vallès, situada al mateix lloc que el punt de control D. En aquesta estació, els valors mitjans de NH<sub>4</sub> i DBO, per al període 2003-2004, són de 15.7 i 6 g·m<sup>-3</sup> respectivament, que entren dins del rang de variació dels resultats de la simulació (veure Figura 3.22).

S'ha optat per utilitzar els paràmetres de simulació que el model dona, per defecte, per simular la qualitat de l'aigua.

Una vegada establerta la situació de referència, s'han introduït en el model les modificacions necessàries, per poder simular les situacions definides en els escenaris. D'entre aquestes modificacions (veure apartat 4.2), cal destacar la introducció d'un cabal mínim al riu, per analitzar la resposta del riu front als abocaments diaris en les condicions més difícils.

#### 3.6.3.3.1. Determinació del cabal mínim

El cabal del riu és una de les variables que més influència té sobre la qualitat de l'aigua. La variabilitat excepcional del cabal en rius mediterranis provoca que la resposta d'aquests front a pertorbacions externes sigui també molt diversa. Les situacions més crítiques es solen donar quan el cabal és molt baix i el seu potencial de dilució es veu desbordat amb qualsevol abocament. A l'hora de fer simulacions d'escenaris que contemplin aquest tipus de situacions, cal, per tant, determinar quin és el cabal mínim del riu en qüestió.

Per tal de determinar quin és el cabal mínim del riu Congost, a l'alçada de La Garriga, s'ha seguit la metodologia del 7Q10. Aquest mètode determina quin és el cabal mínim que s'espera que es doni, durant 7 dies seguits, amb un període de retorn de 10 anys (Chapra, 1997).

El primer pas pel càlcul del 7Q10 és disposar d'una sèrie extensa de dades de cabal. En el nostre cas s'han utilitzat les de l'estació 135R01 del Sistema Automàtic d'Informació Hidrològica (SAIH), de l'ACA. S'han considerat els valors de cabal diaris per al període 1986-2003. Per a cada any hidrològic s'ha de determinar quin és cabal mínim que es dona durant 7 dies consecutius (7-d Q). (Taula 3.25).

**Taula 3.25.** Cabals mínims durant 7 dies consecutius.

Any hidrològic	7-d Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Any hidrològic	7-d Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Any hidrològic	7-d Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
86-87	0.15	92-93	0.02	98-99	0.01
87-88	0.03	93-94	0.02	99-00	0.01
88-89	0.05	94-95	0.02	00-01	0.01
89-90	0.05	95-96	0.06	01-02	0.04
90-91	0.13	96-97	0.08	02-03	0.01
91-92	0.13	97-98	0.08		

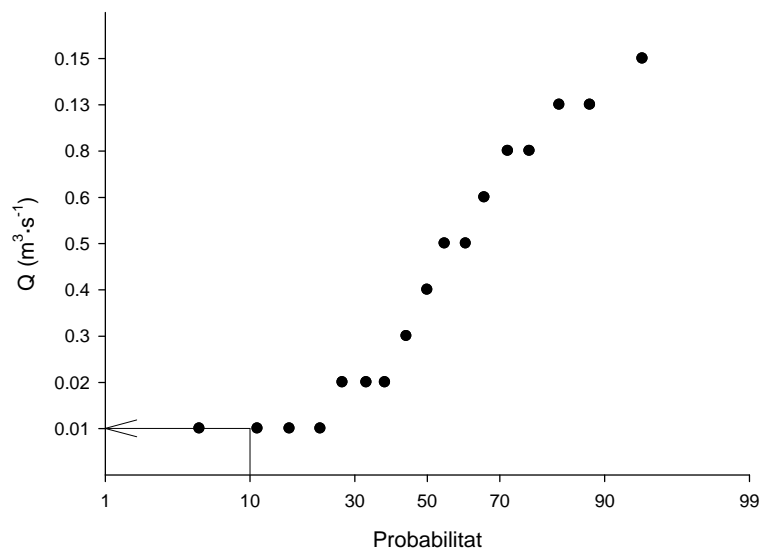
A continuació s'han d'ordenar els  $n$  cabals en ordre ascendent, assignant-los un número de posició  $m$  (Taula 3.26). La probabilitat acumulada d'ocurrència ve donada per:

$$p \equiv \frac{m}{n+1} * 100 \quad [3.23]$$

**Taula 3.26.** Cabals mínims durant 7 dies consecutius.

Posició	7-d Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Probabilitat	Posició	7-d Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Probabilitat
1	0.01	5.56	10	0.05	55.56
2	0.01	11.11	11	0.05	61.11
3	0.01	16.67	12	0.06	66.67
4	0.01	22.22	13	0.08	72.22
5	0.02	27.78	14	0.08	77.78
6	0.02	33.33	15	0.13	83.33
7	0.02	38.89	16	0.13	88.89
8	0.03	44.44	17	0.15	94.44
9	0.04	50.00			

Finalment s'ha de buscar el valor que correspon a la probabilitat acumulada d'ocurrència de 10. Per determinar-lo, aquestes dades es poden representar després en un paper de probabilitat normal i buscar el cabal equivalent al valor de probabilitat 10 (Figura 3.23).

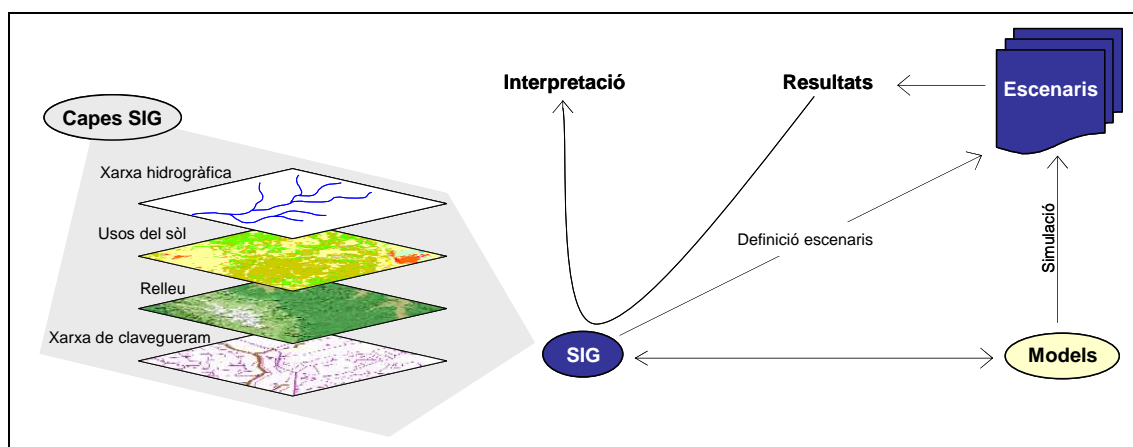
**Figura 3.23.** Determinació del 7Q10.

En el cas del riu Congost, es troba entre valors de cabal repetitius (0.01 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>) i, per tant, aquest és el valor que es determina com a 7Q10.

No s'ha de confondre aquest cabal amb el cabal ecològic o de manteniment, ja que amb la metodologia del 7Q10 es determina un cabal crític que es sol donar sota condicions climàtiques adverses, mentre que el cabal ecològic representa el mínim cabal que ha de mantenir un riu per garantir la viabilitat del seu sistema natural (ACA). Segons el *Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya* (en fase d'informació pública), el cabal ecològic del riu Congost, a l'alçada de La Garriga és de 0.057 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

### 3.6.4. Sistema d'Informació Geogràfica

Durant la realització del projecte s'ha anat recopilant i generant informació geogràfica, necessària en alguns casos, pel propi funcionament dels models de qualitat de l'aigua de clavegueram i riu (InfoWorks CS i InfoWorks RS), i en altres, per analitzar alguns dels escenaris simulats. A partir d'aquesta informació s'ha construït el SIG-Congost, que s'integra dins del SSDA, com una eina de definició i d'anàlisi dels resultats dels escenaris. S'ha utilitzat el programa ArcView GIS 3.2 per construir el SIG propi. Aquest programa permet la connexió directa amb InfoWorks CS i InfoWorks RS, facilitant així el traspàs d'informació geogràfica entre els models i el SIG (Figura 3.24).



**Figura 3.24.** Relacions del SIG amb els models.

El SIG no només permet consultar la informació de forma gràfica. Cada capa d'informació introduïda porta associada una base de dades, de forma que tota la informació de tipus numèric o de text, que s'hi hagi considerat, també és consultable. En la Taula 3.27 es presenten les capes d'informació que s'han introduït en el SIG-Congost.



**Taula 3.27.** Capes d'informació introduïdes al SIG-Congost.

Àmbit	Capas GIS	Font
Sistema de clavegueram	Col·lectors	CDCRB
	Pous de registre	CDCRB
	Obres especials	CDCRB
	Subconques de drenatge	CDCRB
	Sobreeixidors	CDCRB
	Resultats simulacions (cabal i qualitat de l'aigua) a llarg de la xarxa de clavegueram	Elaboració pròpia
EDAR	Instal·lacions EDAR	ACA
	Abocament a riu	Elaboració pròpia
Riu	Xarxa hidrogràfica	ACA
	Estacions d'aforament de cabal	ACA
	Estacions manuals de control de la qualitat de l'aigua	ACA
	Altres punts de mostreig de qualitat de l'aigua	Prat <i>et al</i> , 2003
	Resultats simulacions (cabal i qualitat de l'aigua) a llarg del riu Congost	Elaboració pròpia
Altres	Pluviòmetres	Elaboració pròpia
	Corbes de nivell	ACA
	Zona urbana	CDCRB
	Indústries	Elaboració pròpia
	Limits urbans	ACA
	Fotografies aèries	CDCRB
	Fotografies puntuals del riu Congost	Elaboració pròpia

### 3.7. Integració de models

#### 3.7.1. Consideracions prèvies

En el desenvolupament d'un sistema integrat de models de qualitat de l'aigua es poden trobar diferents problemes: els models utilitzen variables diferents per descriure el sistema aquàtic, aquests models es dissenyen utilitzant diferents programes, fent que les simulacions simultànies siguin més difícils, ja que les comunicacions entre ells requereixen traspassos de fitxers d'aigües amunt a aigües avall. A més, el flux d'informació de l'estat aigües avall cap als models d'aigües amunt, sol ser molt més complicat o fins i tot impossible (Meirlaen *et al*, 2002).

Un altre problema important en la integració de models és l'augment de la incertesa. La incertesa dels resultats d'un model pot provenir de diferents fonts: errors en els mostrejos, en les mesures, quan s'introdueixen dades, quan s'usen altres dades per calibració o en l'assumpció de constants. Quan s'utilitza un conjunt de models, alguns d'aquests errors es poden acumular,

quan la simulació progressa seqüencialment, a mesura que els models van rebent els fitxers de sortida dels altres models (Jakeman i Letcher, 2003).

Avaluant aquestes consideracions i tenint en compte que una connexió adequada entre els models és difícil però essencial, s'ha optat, en base als objectius del projecte, per utilitzar un Programa de Transferència de Dades (PTD) extern, que faci de "mitjancer" entre els tres models, traspasant els fitxers de sortida i fent les conversions necessàries de variables, unitats, formats de fitxer, etc.

La utilització d'aquesta metodologia d'integració no soluciona el problema "d'efecte cascada" de la incertesa. No obstant, es considera que aquesta tindria rellevància en cas que s'haguessin de simular en detall processos molt concrets, calibrant els models a un alt nivell. Per contra, el principal objectiu del projecte és el de simular escenaris molt diversos, on en cadascun s'avalua l'efecte d'una variable en concret (pluges, abocaments industrials, avaries, etc.) sobre el conjunt dels sistemes (clavegueram, EDAR i riu). En aquests context, els resultats dels models es poden assumir amb uns nivells d'incertesa més o menys alts. L'esforç de calibració que es necessitaria per reduir els nivells d'incertesa en tots els escenaris simulats (veure apartat 4.3) es considera inacceptable.

La integració de models que es presenta en aquest projecte no implica un funcionament paral·lel dels models. S'utilitza un funcionament en sèrie. Cada model d'aigües avall fa la seva simulació després de rebre els fitxers de sortida dels models d'aigües amunt. D'aquesta manera, el model de l'EDAR rep els fitxers de sortida del model de clavegueram i pot rebre també el fitxer de sortida d'una altra EDAR. I d'altra banda, el model del riu rep els fitxers de sortida de les EDAR i els dels sistemes de clavegueram (quan els sobreixidors entren en funcionament en episodis de pluja).

### **3.7.2. Construcció del programa de transferència de dades**

La construcció del PTD s'ha realitzat en col·laboració amb Carles-Ruben Diez Taberner (expert informàtic del CDCRB).

S'ha utilitzat el llenguatge de programació *Delphi* per construir un programa, basat en la utilització de tres "finestres", a partir de les quals es realitzen les diferents transferències de dades entre els programes comercials (Figura 3.25).

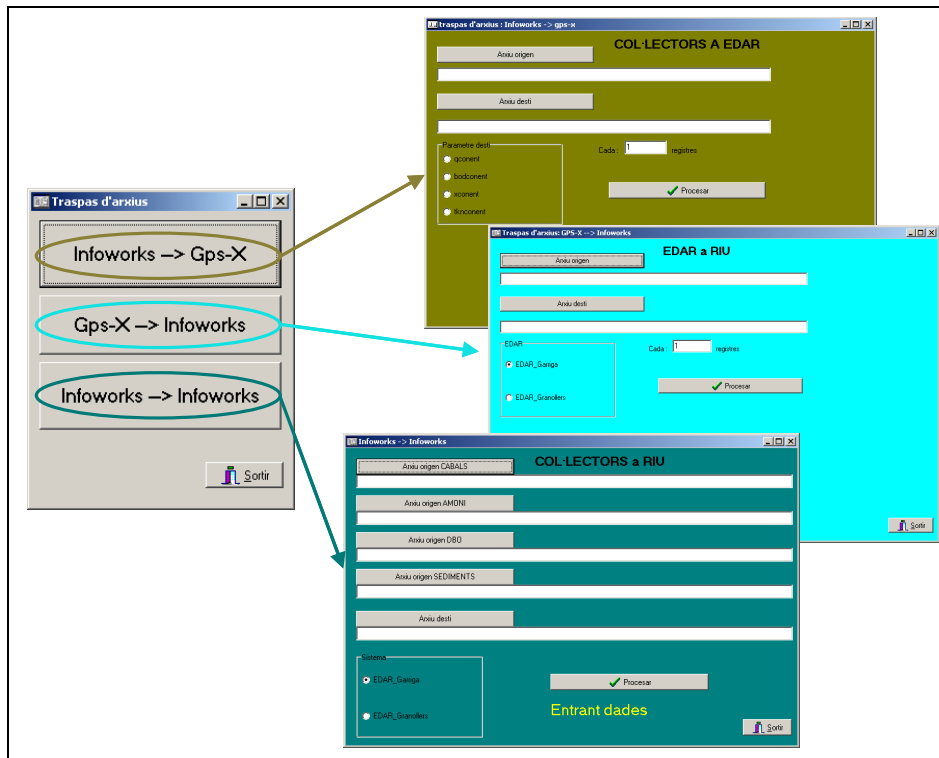


Figura 3.25. Programa de transferència de dades.

Hi ha tres operacions principals que el PTD pot realitzar:

- transferència dels resultats de sortida del model de clavegueram (InfoWorks CS) al model d'EDAR (GPS-X).
- transferència dels resultats de sortida del model d'EDAR (GPS-X) al model de riu (InfoWorks RS).
- transferència dels resultats dels sobreexidors del model de clavegueram (InfoWorks CS) al model de riu (InfoWorks RS).

### 3.7.2.1. Clavegueram a EDAR (Infoworks CS a GPS-X)

En aquest cas, el PTD rep els resultats de cabal i qualitat de l'aigua del model de clavegueram (obtinguts en l'últim node del sistema). Després es fan les conversions necessàries i, finalment, treu uns fitxers en el format adequat per introduir-los al model d'EDAR. Aquests passos s'han de fer pel sistema de La Garriga i pel de Granollers. En la Taula 3.28 es presenta un resum de les diferències entre els arxius generats pel model de clavegueram i els arxius d'entrada al model d'EDAR.

**Taula 3.28.** Diferències entre arxius d'entrada i sortida. InfoWorks CS / GPS-X.

Paràmetre	InfoWorks CS		GPS-X	
	Etiqueta de definició	Unitats	Etiqueta de definició	Unitats
Cabal	ds_flow	$m^3 \cdot s^{-1}$	Qconent	$m^3 \cdot d^{-1}$
DBO	ds_mcbodtot	$g O_2 \cdot m^{-3}$	Bodconent	$g O_2 \cdot m^{-3}$
MES	ds_mcsf1	$g \cdot m^{-3}$	Xconent	$g \cdot m^{-3}$
NKT	ds_mctkntot	$g N \cdot m^{-3}$	Tknconent	$g N \cdot m^{-3}$
Temps	time	s	T	dies
Tipus arxiu	.csv (comma separated values)		.dat (arxiu tipus text)	
Arxius La Garriga	4 arxius generats		4 arxius d'entrada	
Arxius Granollers	4 arxius generats		4 arxius d'entrada	

El nombre d'arxius que rep el PTD i el que ha de generar és el mateix, 4, cadascun dels quals es correspon amb les següents variables: cabal, DBO, MES i NKT. El PTD recull cada arxiu en format “.csv”. En aquest format cada valor generat es separa per una coma, i en cada columna es situa un camp (ex. temps, variable, valor, unitats, etc.). Per a cada arxiu el PTD canvia les etiquetes de definició de la variable i, en el cas de l'arxiu de cabal, multiplica els valors per 86400, per convertir-los a  $m^3 \cdot d^{-1}$ , unitats del model d'EDAR. Els arxius generats són tipus text, amb una estructura concreta, que s'ha de mantenir perquè GPS-X els pugui “llegir”. El PTD genera aquest tipus d'estructura en format “.txt”, però finalment canvia la terminació per “.dat” (terminació amb la que s'introdueixen els arxius al GPS-X).

El PTD també té una opció per adequar els temps d'inferència dels dos models, de forma que si el temps d'inferència del model de clavegueram és més petit, es pot indicar la freqüència de presa de registres, ajustant-la al temps d'inferència del model d'EDAR.

### 3.7.2.2. EDAR a riu (GPS-X a InfoWorks RS)

El PTD, en aquest cas, rep els resultats de cabal i qualitat de l'aigua del model d'EDAR (obtinguts a l'efluent i al sobreeixidor de primari) i els converteix en arxius d'entrada, en el format adequat per introduir-los al model de rius. L'operació es repeteix per les dues EDAR (La Garriga i Granollers). En la Taula 3.29 es presenten les diferències entre l'arxiu generat pel model d'EDAR i els arxius d'entrada al model de riu.

**Taula 3.29.** Diferències entre arxius d'entrada i sortida. GPS-X / InfoWorks RS.

Paràmetre	GPS-X		InfoWorks RS	
	Etiqueta de definició	Unitats	Etiqueta de definició	Unitats
Cabal	qQout	$m^3 \cdot d^{-1}$	Flow	$m^3 \cdot s^{-1}$
OD	soQout	$g O_2 \cdot m^{-3}$	dissolved oxygen	$g O_2 \cdot m^{-3}$
MES	xQout	$g \cdot m^{-3}$	suspended sediment	$g \cdot m^{-3}$
DBO	bodQout	$g O_2 \cdot m^{-3}$	fast BOD	$g O_2 \cdot m^{-3}$
NO <sub>3</sub>	snoQout	$g N \cdot m^{-3}$	nitrate-n	$g N \cdot m^{-3}$
NH <sub>4</sub>	snhQout	$g N \cdot m^{-3}$	ammoniacal nitrogen	$g N \cdot m^{-3}$
N orgànic particulat	xndQout	$g N \cdot m^{-3}$	detrital nitrogen	$g N \cdot m^{-3}$
N orgànic	sndQout	$g N \cdot m^{-3}$	organic nitrogen	$g N \cdot m^{-3}$
Temps	t	dies	Time	s
Tipus arxiu	.out (arxiu tipus text)		.csv (comma separated values)	
Arxius La Garriga	1 arxius generats		16 arxius d'entrada	
Arxius Granollers	1 arxius generats		16 arxius d'entrada	

El PTD rep 1 arxiu del model d'EDAR, on hi consten les dades de l'efluent i de l'efluent del sobreexidor de primari. En genera 16 pel model de riu (un pel cabal i per a cada variable de qualitat dels dos efluent). Els arxius generats per GPS-X tenen format tipus text però, amb una terminació interna “.out”. El PTD recull aquests arxius i, igual que en l'apartat anterior, canvia les etiquetes de definició i modifica el cabal, en aquest cas dividint-lo per 86400, per convertir-lo a  $m^3 \cdot s^{-1}$ . Finalment, genera els arxius amb format “.csv”, que posteriorment s'importen al model de riu. Aquesta operació es repeteix per l'efluent del sobreexidor de primari i per a cada EDAR. Per tant, el PDT genera, en total, 32 arxius que s'importen a InfoWorks RS.

### 3.7.2.3. Sobreexidors de clavegueram a riu (InfoWorks CS a InfoWorks RS)

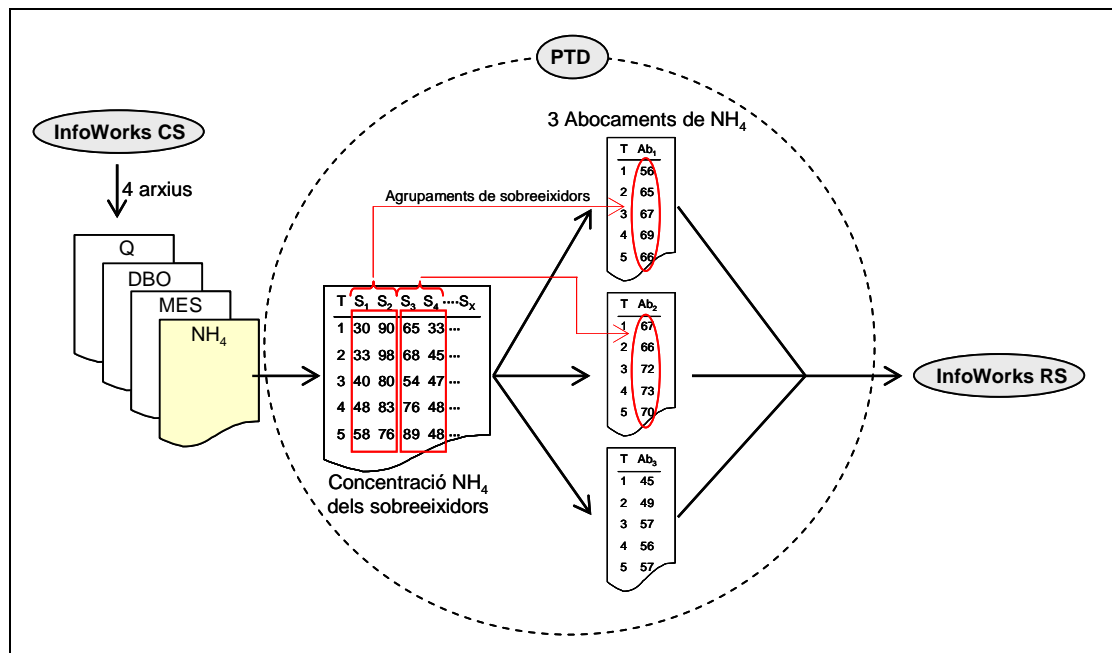
En aquest cas, el PTD rep els resultats de cabal i qualitat de l'aigua del model de clavegueram, per a cada sobreexidor de la xarxa, els agrupa segons situació i proximitat al riu, fa els càlculs necessaris i els converteix en el format adequat per ser introduïts al model de riu. La transferència es fa, per separat, per als sobreexidors dels dos sistemes (La Garriga i Granollers). En la Taula 3.30 es presenten les diferències entre els arxius generats pel model de clavegueram i els arxius d'entrada al model de riu.

**Taula 3.30.** Diferències entre arxius d'entrada i sortida. InfoWorks CS / InfoWorks RS.

Paràmetre	InfoWorks CS		InfoWorks RS	
	Etiqueta de definició	Unitats	Etiqueta de definició	Unitats
Cabal	ds_flow	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Flow	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
DBO	ds_mcbodtot	$\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$	fast BOD	$\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$
MES	ds_mcsf1	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	suspended sediment	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
$\text{NH}_4$	ds_mcnh4tot	$\text{g N} \cdot \text{m}^{-3}$	ammoniacal nitrogen	$\text{g N} \cdot \text{m}^{-3}$
Temps	time	s	T	s
Tipus arxiu	.csv (comma separated values)		.csv (comma separated values)	
Arxius La Garriga	4 arxius generats		12 arxius d'entrada	
Arxius Granollers	4 arxius generats		52 arxius d'entrada	

Aquesta és la transferència més complexa a causa de l'agrupament de sobreexidors en punts d'abocament a riu i als càlculs que se'n deriven (veure apartat 3.5.1).

En el cas del sistema de La Garriga, el PTD rep 4 arxius, un per a cada variable de qualitat i pel cabal. Cadascun d'aquests arxius mostra el valor de la variable (cabal, DBO, MES i  $\text{NH}_4$ ) per a tots els sobreexidors del sistema de clavegueram de La Garriga. A La Garriga s'han simulat, amb el model de clavegueram, 10 sobreexidors, els quals s'han agrupat en 3 punts d'abocament a riu. El PTD ha de recalculer les concentracions i els cabals per a aquests tres punts d'abocament. D'aquesta manera el PTD genera, finalment, 12 arxius d'entrada (un per abocament i variable) al model de riu (Figura 3.26).

**Figura 3.26.** Transferència de dades entre InfoWorks CS i InfoWorks RS.

En aquesta figura es representa l'agrupament per a la variable  $\text{NH}_4$ . El PTD agrupa, per exemple, els sobreexidors 1 i 2 ( $S_1$ ,  $S_2$ ) en l'abocament 1 ( $Ab_1$ ), recalculant la concentració d'amoni per a cada temps de simulació.

En aquest cas, el format dels arxius rebuts i generats pel PTD és el mateix (".csv"). Per a cada agrupament dels resultats dels sobreexidors, el PTD suma els cabals dels sobreexidors i calcula les concentracions resultants dels paràmetres de qualitat, segons l'equació 3.24.

$$C_a = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i C_i}{Q_t} \quad [3.24]$$

On:

$C_a$  = concentració del paràmetre de qualitat per l'abocament

$n$  = nombre total de sobreexidors agrupats

$Q_i$  = cabal per al sobreexidor  $i$

$C_i$  = concentració per al sobreexidor  $i$

$Q_t$  = suma de cabals per als  $n$  sobreexidors

En el sistema de Granollers hi ha 167 sobreexidors simulats, repartits en 13 punts d'abocament. El PTD genera, en aquest cas, 52 arxius d'entrada al model de riu (4 per variable i punt d'abocament).

## 4. Resultats

---

### 4.1. Utilització dels models

Una vegada automatitzat el procés de transferència de dades entre els tres models es disposa d'una eina capacitada per simular la qualitat i la quantitat de l'aigua al llarg de tots els ambients estudiats, des del primer tram de clavegueram del sistema de la Garriga fins al darrer punt del riu Congost.

Els models han estat ajustats en base a dades reals mitjanes del període 2003-2004. Aquest ajustament s'ha anomenat situació o escenari de referència. A partir de la situació de referència s'han anat introduint modificacions en el conjunt de models per simular situacions concretes, anomenades escenaris. L'objectiu d'aquestes simulacions és el d'extreure, de cada escenari, el coneixement necessari per avaluar les conseqüències que les modificacions introduïdes produeixen sobre la quantitat i la qualitat de l'aigua del conjunt del sistema estudiat. Amb el coneixement adquirit i el ja existent en gestió de les infraestructures de sanejament es plantejaran, posteriorment, una sèrie de regles d'actuació per les situacions simulades en els escenaris.

Els escenaris simulats responen, sobretot, a una recerca d'informació sobre les conseqüències que algunes situacions crítiques (mínim cabal al riu, pluja intensa o abocament industrial no autoritzat) tindrien sobre la qualitat de l'aigua del sistema. Amb l'objectiu de minimitzar aquestes conseqüències s'han simulat, també, escenaris hipotètics en els quals s'introdueixen mesures correctores.



Durant el procés de construcció dels escenaris, les modificacions introduïdes en els sistema de models s'han definit amb col·laboració amb els experts gestors de cadascun dels sistemes afectats. Moltes de les modificacions introduïdes intenten simular i donar resposta a les problemàtiques de gestió del sistema de sanejament, definides en l'apartat 1.1.3. Algunes modificacions, cas dels abocaments industrials no autoritzats, són poc probables pel que fa a les concentracions o cabals abocats, però s'han introduït per produir una resposta negativa contundent en la qualitat de l'aigua del riu, de forma que es poguessin avaluar, clarament, les alternatives d'actuació simulades per minimitzar aquest impacte. Una modificació important és la que introdueix als sistemes de clavegueram dipòsits de regulació. Aquesta respon a l'interès del CDCRB en la possible construcció d'aquests dipòsits, amb els objectius de laminar els cabals a les entrades de les EDAR i de regular els episodis de pluja i els possibles abocaments industrials. Aquesta modificació s'ha creuat amb altres per avaluar si la presència dels dipòsits de regulació ha produït alguna diferència significativa sobre la qualitat de l'aigua del sistema, davant de moltes de les situacions crítiques simulades.

## **4.2. Definició dels escenaris**

En aquest apartat es presenten tots els escenaris, explicant les modificacions introduïdes i els objectius de cadascun. La definició dels escenaris és una de les parts més importants de la tesi. Els criteris de selecció i definició dels 29 escenaris que s'han simulat no són aleatoris i tampoc s'ha seguit un procediment de simulació de tots els escenaris possibles, creuant totes les variables i petites modificacions d'aquestes, ja que el volum de resultats hagués impossibilitat la l'anàlisi dels mateixos. En canvi, s'han triat uns escenaris concrets, en el que les variables introduïdes i les modificacions d'aquestes s'han acordat conjuntament amb els gestors, incorporant-hi el coneixement expert d'aquests.

---

### **Escenari 1: Escenari de referència**

---

L'escenari 1 s'ha considerat com la situació de referència, més o menys estable, que es dona en un major nombre de vegades, sense perturbacions importants i amb unes condicions climàtiques no extremes. Aquesta situació serveix com a base a les modificacions posteriors. Tots els escenaris següents parteixen d'aquesta situació i se'ls hi modifiquen determinades variables per estudiar el seu efecte respecte a la situació de referència. Per a determinar les característiques inicials d'aquest escenari s'han adquirit sèries de dades de les variables inicials a introduir als models (consums d'aigua, composicions tipus de l'aigua residual, característiques i cabal inicials del riu Congost, etc.). Posteriorment s'han estimat els valors mitjans de totes aquestes variables i s'han consensuat amb els experts (gestors EDAR i clavegueram), considerant quins eren els valors que millor podien representar la situació de referència. En aquest escenari es

simula una situació de temps sec, no s'han implementat dipòsits de regulació als sistemes de clavegueram, el model de l'EDAR de La Garriga, nitrifica completament, mentre que el model de l'EDAR Granollers no ho fa i el cabal mitjà inicial del riu, a l'alçada de La Garriga, és de  $0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

---

### **Escenari 2: Mínim cabal al riu**

---

L'objectiu de la simulació d'aquest escenari és el d'observar l'efecte dels efluent de les EDAR sobre el riu Congost, en condicions de molt poc cabal al riu. S'intenta representar la situació típica d'època de sequera, on la major part de l'aigua del riu Congost prové d'efluents de les EDAR. Per a determinar el cabal mínim al riu Congost s'ha utilitzat la metodologia del "7Q10", aplicada a una sèrie dades de cabal de l'estació 135R01 del Sistema Automàtic d'Informació Hidrològica (SAIH), que l'ACA té situada a La Garriga. Així s'ha determinat que, en aquesta simulació, el cabal inicial del riu Congost és de  $0.01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , enlloc dels  $0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  utilitzats en l'escenari de referència.

---

### **Escenari 3: Dipòsits de regulació**

---

En aquest escenari s'intenta analitzar la resposta del sistema front a l'implementació de dipòsits de regulació per laminar els cabals a les entrades de les EDAR. Partint de la teoria de que un cabal laminat en temps sec, facilitaria les operacions de les EDAR i permetria abaratir costos i optimitzar el procés de depuració, s'han introduït, en el sistema de models, una sèrie de dipòsits per simular l'efecte de laminació. A partir de l'anàlisi detallada dels perfils hidrològics dels col·lectors principals, als sistemes de clavegueram de la situació de l'escenari 1, s'ha estimat la capacitat que han de tenir els dipòsits, la seva ubicació (mitjançant l'ús del SIG i atenent a criteris de disponibilitat de sòl, pendents, cabals d'entrada, etc.) i els cabals fixos de descàrrega que haurien de tenir els dipòsits per laminar els cabals. Paral·lelament el CDCRB ha realitzat diversos estudis per tal de dissenyar i determinar la capacitat d'aquests dipòsits. Aquesta informació s'han contrastat amb el que s'ha extret de l'anàlisi pròpia, sobretot pel que fa a les limitacions econòmiques que determinen una capacitat màxima dels dipòsits. D'aquesta forma s'ha acabat acordant la implementació de 3 dipòsits a La Garriga, amb una capacitat total de  $7000 \text{ m}^3$  i de 4 dipòsits a Granollers, amb una capacitat total de  $33000 \text{ m}^3$  (veure apartat 3.6.1.3.1).

---

#### **Escenari 4: Dipòsits de regulació i pluja**

---

Es simula una situació de pluja amb els dipòsits de regulació de l'escenari 3, que estan dissenyats per laminar cabals en temps sec i tenen un cabal de descàrrega fix. L'objectiu d'aquest escenari és el d'analitzar la resposta dels sistemes de clavegueram amb dipòsits davant un episodi de pluja (nivell d'actuació dels sobreexidors, volum d'aigua recollit pel sistema, etc.), la influència de l'augment de cabal i dels efectes de dilució en les EDAR i la incidència de l'actuació dels sobreexidors sobre la qualitat de l'aigua del riu. Per simular aquestes condicions s'ha introduït un episodi de pluja real, de 23 mm en 12 hores, recollit a Granollers al 1988. Per adequar el cabal del riu Congost a l'episodi de pluja s'han utilitzat les dades de l'estació d'aforament 135R01 de La Garriga, corresponents al moment en què va tenir lloc l'episodi de pluja i als dies anteriors i posteriors. Així, el cabal inicial, al punt simulat d'inici del riu Congost, no és de  $0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , sinó de  $0.13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , cabal corresponent als dies anteriors al episodi de pluja.

---

#### **Escenari 5: Pluja**

---

L'objectiu d'aquest escenari és el d'analitzar les mateixes variables que en l'escenari anterior però, en aquest cas, sense implementar els dipòsits de laminació de cabals. Sobretot es vol determinar si l'actuació dels sobreexidors és substancialment diferent entre els dos escenaris.

---

#### **Escenari 6: Dipòsits de regulació i pluja intensa**

---

Es simula una situació de pluja molt intensa i continuada, amb els mateixos dipòsits de regulació que en els escenaris 3 i 4. L'objectiu de l'escenari també és el d'analitzar les mateixes variables que en els dos escenaris anteriors, establint comparacions entre ells. L'episodi de pluja s'ha estimat a partir de modificacions del perfil utilitzat en l'escenari 4, arribant a una pluja total acumulada de 150 mm, distribuïts en un interval de 2 dies. Per adequar el cabal del riu Congost a l'episodi de pluja s'han utilitzat les dades de l'estació d'aforament 135R01 de La Garriga, corresponents a episodis de pluja semblants al simulat. D'aquesta forma el cabal inicial del riu és de  $0.24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

---

#### **Escenari 7: Control dels dipòsits de regulació**

---

En aquests cas es simula una situació com la de l'escenari 4, amb pluja i dipòsits de regulació, però s'introdueix un sistema de control del cabal de descàrrega en els dipòsits. L'objectiu d'aquest escenari és el de minimitzar l'actuació dels sobreexidors i analitzar la influència que aquests tenen sobre la qualitat de l'aigua del riu, comparant-la amb la dels escenaris anteriors, en els què es simulaven situacions de pluja. La variació del cabal de descàrrega s'ha simulat

---

mitjançant un control sobre l'alçada de l'aigua en cada dipòsit, de forma que a mesura que el dipòsit es va omplint el cabal de descàrrega augmenta.

---

#### **Escenari 8: Pluja suau**

---

Es simula una situació de pluja poc intensa sense dipòsits de laminació. Segons l'experiència dels experts (gestors de les EDAR del CDCRB), les pluges menys intenses solen ser les més problemàtiques ja que es donen amb molta més freqüència i el seu potencial de dilució és més reduït, augmentant la concentració de contaminants que per esorrentia (a través del "rentat" de superfície) van a parar al sistema de clavegueram. En base a l'experiència dels gestors s'ha considerat que una pluja d'uns 10 mm, en un període de 5 hores, compleix les característiques descrites. Aquest episodi de pluja és el resultat de modificacions del perfil utilitzat en l'escenari 4. També s'ha adequat el cabal del riu Congost utilitzant dades de l'estació d'aforament 135R01 de La Garriga, corresponents a episodis de pluja semblants al simulat. L'objectiu d'aquest escenari, per tant, és el de determinar la influència d'una pluja de 10 mm acumulats sobre el sistema en general, comparant les variables estudiades en els escenaris de pluja anteriors i centrant l'atenció en l'actuació dels sobreeixidors i en la influència que aquests tenen sobre la qualitat de l'aigua del riu.

---

#### **Escenari 9: Augment de població**

---

En aquest escenari es simula una situació amb les mateixes condicions que en l'escenari de referència (escenari 1) però amb un augment de població estimat per a l'any 2013. Els progressius increments de connexions a la xarxa de clavegueram (tant urbans com industrials) fan que, les EDAR hagin de suportar cada vegada més càrrega contaminat. L'objectiu d'aquest escenari és el de fer una previsió de creixement de població pels propers 10 anys i simular l'efecte d'aquest augment sobre les infraestructures hidràuliques actuals. Per a fer la previsió de creixement s'han utilitzat les taxes de creixement de 2003, que l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT) dona per al Vallès Oriental. Amb aquestes taxes s'ha fet una estimació de creixement a l'alça d'un 25% per al conjunt de la població d'estudi (La Garriga, Les Franqueses del Vallès, Canovelles i Granollers), passant dels 96400 habitants al 2003, als 121000 d'aquest escenari.

---

**Escenari 10: Augment de població amb dipòsits de regulació**

---

Es simula la mateixa situació que en l'escenari 9, però amb dipòsits de laminació de cabal. L'objectiu és analitzar l'efecte dels dipòsits sobre la situació d'increment de població. Els cabals de descàrrega fixos dels dipòsits de l'escenari 3 s'han ajustat a l'increment de població d'aquest escenari.

---

**Escenari 11: Abocament a La Garriga**

---

Es simula l'abocament d'aigües residuals molt contaminades per part d'una indústria connectada al sistema de clavegueram de La Garriga. L'experiència dels gestors del CDCRB demostra que periòdicament hi ha abocaments industrials no controlats a la xarxa de clavegueram que, a vegades, són de difícil tractament a les EDAR o afecten greument el seu funcionament. En la situació de referència (escenari 1) ja es simulen abocaments industrials, però són abocaments controlats amb cabals i càrregues assumibles per les EDAR. L'objectiu d'aquest escenari és el de plantejar una situació, que produeixi un impacte considerable a l'EDAR de La Garriga. Amb aquesta finalitat s'ha estimat un abocament amb cabal i concentracions de contaminants molt elevades ( $Q = 0.03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{DBO} = 9000 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\text{NH}_4 = 850 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$ ) i una durada de dos dies.

---

**Escenari 12: Abocament a La Garriga amb dipòsits de regulació**

---

Es simula la mateixa situació que en l'escenari anterior (11), però amb els dipòsits de regulació de l'escenari 3. En aquest escenari l'objectiu és el de valorar si els dipòsits de laminació de cabal, amb un cabal de descàrrega fix, dissenyats per laminar cabal en temps sec, tenen alguna influència sobre l'abocament industrial.

---

**Escenari 13: Abocament a La Garriga amb derivació (35%)**

---

Es simula la mateixa situació que en l'escenari 11, amb un abocament industrial a La Garriga, però amb una derivació del cabal d'entrada de l'EDAR de La Garriga cap a l'EDAR Granollers. Entre els dos sistemes existeix un canal que permet aquesta derivació, amb un cabal límit d'uns  $280 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , bastant per sobre dels  $165 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , que l'EDAR de La Garriga té com a cabal mitja d'entrada. L'objectiu d'aquest escenari és el d'analitzar si derivant part del cabal d'entrada de La Garriga, que ha rebut l'abocament, cap a l'EDAR Granollers, es millora la situació general de la qualitat de l'aigua del riu Congost. En aquest escenari es deriva un 35% del cabal d'entrada de La Garriga.

---

**Escenari 14: Abocament a La Garriga amb derivació (50%)**

---

En aquest cas es simulen les mateixes condicions que en l'escenari anterior però amb una derivació del 50%. L'objectiu d'aquest escenari és el d'avaluar la situació de la qualitat de l'aigua del riu Congost, comparant-la amb la de l'escenari 13, valorant si l'augment de la derivació produeix una millora significativa respecte a la situació anterior.

---

**Escenari 15: Abocament a La Garriga amb mínim cabal al riu**

---

Es simula la situació d'abocament industrial a La Garriga però amb condicions de mínim cabal al riu. Les condicions per a que es doni una situació de cabal mínim (pluges escasses i extraccions d'aigua per regadiu) no només es donen en l'època estival i la seva freqüència fa que augmenti la possibilitat de coincidència amb altres fenòmens que poden alterar la qualitat de l'aigua del riu, com els abocaments industrials incontrolats. L'objectiu d'aquest escenari és el de valorar els efectes dels efluents de les EDAR sobre la qualitat de l'aigua del riu en aquestes condicions. Com a cabal mínim s'ha utilitzat el cabal calculat per a l'escenari 2, amb el mètode "7Q10" ( $0.01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

---

**Escenari 16: Abocament a La Garriga amb derivació i mínim cabal al riu**

---

Es simulen les condicions de l'escenari 14 (abocament industrial a La Garriga, amb derivació del 50% del cabal a Granollers), però amb situació de mínim cabal al riu. L'objectiu de l'escenari és valorar les mateixes variables que en els escenaris anteriors (influència dels efluents de les EDAR sobre la qualitat de l'aigua del riu) i comparar els resultats respecte als escenaris 14 i 15, per veure si la derivació té el mateix efecte sota condicions de cabal mínim.

---

**Escenari 17: Avaria a La Garriga**

---

Es simula una situació de parada total de l'EDAR de La Garriga. Una situació de parada total es pot donar en cas d'avaries greus, reformes, etc., abocant l'aigua no tractada directament a riu. És important, per tant, conèixer les conseqüències de la parada sobre el conjunt del sistema per poder predir les possibles accions correctives. L'objectiu d'aquest escenari és el de veure l'impacte de l'abocament directe de les aigües del sistema de clavegueram de La Garriga sobre el riu Congost, comparant-lo amb l'escenari 1 de referència.

---

### **Escenari 18: Avaria a La Garriga amb derivació total**

---

Es simula una situació amb les mateixes condicions que en l'escenari anterior, però amb la derivació completa del cabal d'entrada a La Garriga cap a l'EDAR Granollers. Una situació de parada total amb derivació a Granollers s'ha donat en la realitat a l'EDAR de La Garriga, quan es van fer les obres d'ampliació d'aquesta. En aquest cas es vol plantejar la mateixa situació i analitzar les variacions en la qualitat de l'aigua del riu Congost, comparant els resultats amb els escenaris 1 i 17.

---

### **Escenari 19: Inhibició de la nitrificació a La Garriga**

---

En aquest escenari es simula una inhibició de la nitrificació a l'EDAR de La Garriga. Les condicions de l'escenari són les mateixes que en l'escenari 1, excepte aquelles que tenen relació directa amb el procés de nitrificació a La Garriga. En el model d'EDAR de La Garriga s'han modificat a la baixa la taxa de creixement i el rendiment dels microorganismes autòtrofs per simular la inhibició de la nitrificació. Aquesta inhibició es pot donar en la realitat per descensos de temperatura, abocament de substàncies inhibidores o baixes edats del fang, entre d'altres causes. L'objectiu d'aquest escenari és el d'analitzar la resposta de l'EDAR afectada i la seva influència en la qualitat de l'aigua del riu.

---

### **Escenari 20: Abocament a Granollers**

---

Es simula un abocament d'aigües residuals molt contaminades per part d'una indústria connectada al sistema de clavegueram de Granollers. L'abocament simulat té les mateixes característiques que el de l'escenari 11. Es vol comparar la influència d'un mateix abocament sobre l'EDAR Granollers, amb molta més capacitat que la de La Garriga, però sense nitrificació estable. Segons l'experiència dels gestors del CDCRB, l'EDAR Granollers rep una gran quantitat de descàrregues d'aigües industrials, fet que condiciona el seu bon funcionament. Encara que no s'han modificat les característiques d'aquest abocament respecte al de l'escenari 11, la seva magnitud assegura un impacte considerable en l'EDAR. Un segon objectiu de l'escenari és avaluar la qualitat de l'aigua del riu, comparant-la amb la de l'escenari 1, i estudiant les possibilitats d'actuació front a l'abocament.

---

### **Escenari 21: Abocament a Granollers amb derivació (50%)**

---

Es simulen les mateixes condicions que en l'escenari anterior (20), però amb una derivació de part del cabal d'entrada a l'EDAR Granollers cap a l'EDAR de Montornès del Vallès. El segon canal de derivació que possibilita aquesta derivació no està construït però sí dimensionat, amb un cabal màxim que podria arribar als  $800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , mentre que el cabal mitjà d'entrada a

Granollers és d'uns  $860 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . En aquest projecte no es simula l'EDAR de Montornès del Vallès, però s'ha considerat, en base a l'experiència dels gestors del CDCRB, que aquesta EDAR podrà assumir, en un futur, part del cabal de l'EDAR Granollers. És per això que es planteja un escenari de derivació aigües avall sense avaluar-ne les conseqüències. S'ha estimat que una derivació del 50% podria ser suficient per reduir considerablement l'impacte de l'abocament sobre el riu. L'objectiu de l'escenari és, per tant, el d'analitzar la resposta de l'EDAR Granollers i de la qualitat de l'aigua del riu Congost a la derivació, comparant-la amb la situació dels escenaris 1 i 20.

---

#### **Escenari 22: Abocament a Granollers amb dipòsits de regulació**

---

Escenari on es simulen les condicions de l'escenari 20 (abocament d'aigües industrials molt contaminades al sistema de clavegueram de Granollers), però amb els dipòsits de regulació de cabal que s'han dissenyat per a l'escenari 3. L'objectiu de l'escenari és el d'avaluar si l'actuació dels dipòsits de regulació té alguna influència significativa sobre la qualitat de l'aigua del riu Congost.

---

#### **Escenari 23: Abocaments a La Garriga i Granollers amb dipòsits i pluja**

---

Escenari on es simula una situació de pluja, en la qual, al mateix temps, es produeixen 2 abocaments d'aigües residuals industrials molt contaminades, als sistemes de clavegueram de La Garriga i Granollers. També s'introdueix la variable dels dipòsits de regulació de cabals. En aquest escenari es vol reproduir una situació descrita pels experts en gestió d'EDAR i de rius, en la qual augmenta el número d'aquests abocaments incontrolats, aprofitant l'efecte de dilució de la pluja. S'ha utilitzat el patró de pluja real simulat en l'escenari 4, el qual s'ha modificat per aconseguir una pluja de 2 dies, amb un volum total caigut de 94 mm. El perfil inicial del riu Congost a La Garriga s'ha adequat a partir de dades de l'estació d'aforament 135R01, corresponents a episodis de pluja semblants. S'han utilitzat les mateixes característiques pels abocaments de La Garriga de l'escenari 11 i de Granollers de l'escenari 20. Així, es vol comparar l'efecte de la dilució en la qualitat final de l'aigua del riu Congost respecte als escenaris 1, 11 i 20. També s'ha d'avaluar la influència de l'actuació dels sobreexidors, comparant els resultats d'aquest escenari amb els dels escenaris 12 i 22 (abocaments individuals sense pluja i amb dipòsits).



---

#### **Escenari 24: Avaria col·lector a Granollers**

---

Es simula una situació d'avaría en un dels col·lectors de Granollers, amb les condicions de dipòsits de regulació de l'escenari 3. Els gestors del clavegueram del CDCRB descriuen múltiples situacions en les quals un col·lector pot deixar de funcionar: trencaments, obturacions, obres, etc. L'objectiu d'aquest escenari és el de reproduir una d'aquestes situacions, per analitzar les conseqüències sobre la qualitat de l'aigua del riu Congost, respecte a l'escenari 1, de referència. Per simular aquesta situació s'ha suprimit un petit tram de col·lector en el model de clavegueram de Granollers, de forma que entren en funcionament els sobreeixidors més propers, aigües amunt del tram de col·lector suprimit.

---

#### **Escenari 25: Abocament puntual**

---

Es simula una situació d'abocament industrial puntual al sistema de clavegueram de La Garriga. En base a l'experiència dels gestors del CDCRB s'ha constatat que la tipologia i origen dels abocaments industrials fa que, moltes vegades, aquests abocaments tinguin un caràcter puntual. En aquest escenari es planteja un abocament, que té lloc els dos primers dies de simulació, amb les següents característiques principals:  $Q = 0.003 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{DBO} = 9000 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$  i  $\text{NH}_4 = 5000 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$ . A més, durant les 9:00 i les 11:00 hores d'aquests dos dies, hi ha un augment considerable de càrrega d'amoni, i l'abocament passa a tenir les característiques següents:  $Q = 0.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{DBO} = 9000 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$  i  $\text{NH}_4 = 290 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$ . L'objectiu de l'escenari és avaluar l'impacte del caràcter puntual que l'abocament té sobre l'abocament inicial, sobre l'EDAR de La Garriga i sobre la qualitat de l'aigua del riu Congost, comparant aquesta situació amb la de l'escenari 1, de referència.

---

#### **Escenari 26: Abocament puntual amb dipòsits**

---

Es simulen les mateixes condicions que en l'escenari anterior però s'introdueixen els dipòsits de regulació de l'escenari 3. Una funció dels dipòsits de regulació, a part de la de laminar cabals en temps sec, i regular els episodis de pluja, també pot ser la de la laminació dels abocaments puntuals; de manera que les EDAR rebien l'abocament de forma gradual, i no de la forma puntual en la que s'han produït. És per això que es planteja aquest escenari, l'objectiu del qual és el d'avaluar si els dipòsits de regulació tenen algun efecte constatable, sobre la qualitat de l'aigua final del riu Congost.

---

**Escenari 27: Abocament puntual amb mínim cabal al riu**

---

Es simula la situació d'abocament industrial puntual a La Garriga, de l'escenari 25, però amb condicions de mínim cabal al riu. S'utilitza el mateix cabal mínim calculat per a l'escenari 2 ( $0.01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). A causa de la freqüència en que es produeixen les situacions de cabal mínim, es vol reproduir i analitzar l'efecte d'un abocament puntual, sobre la qualitat de l'aigua d'un riu Congost en aquestes condicions.

---

**Escenari 28: Abocament puntual amb dipòsits i mínim cabal al riu**

---

En aquest cas es simula la situació d'abocament industrial puntual a La Garriga, amb dipòsits de regulació, de l'escenari 26, però també amb condicions de mínim cabal al riu. S'utilitza el mateix cabal mínim calculat per a l'escenari 2 ( $0.01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). L'objectiu de l'escenari és avaluar l'efecte dels dipòsits sobre l'abocament, amb condicions de mínim cabal. Els resultats de qualitat de l'aigua del riu s'han de comparar amb els dels escenaris 1, de referència, i amb els escenaris anteriors, en els quals s'ha plantejat un abocament puntual (25, 26 i 27).

---

**Escenari 29: Derivació màxima**

---

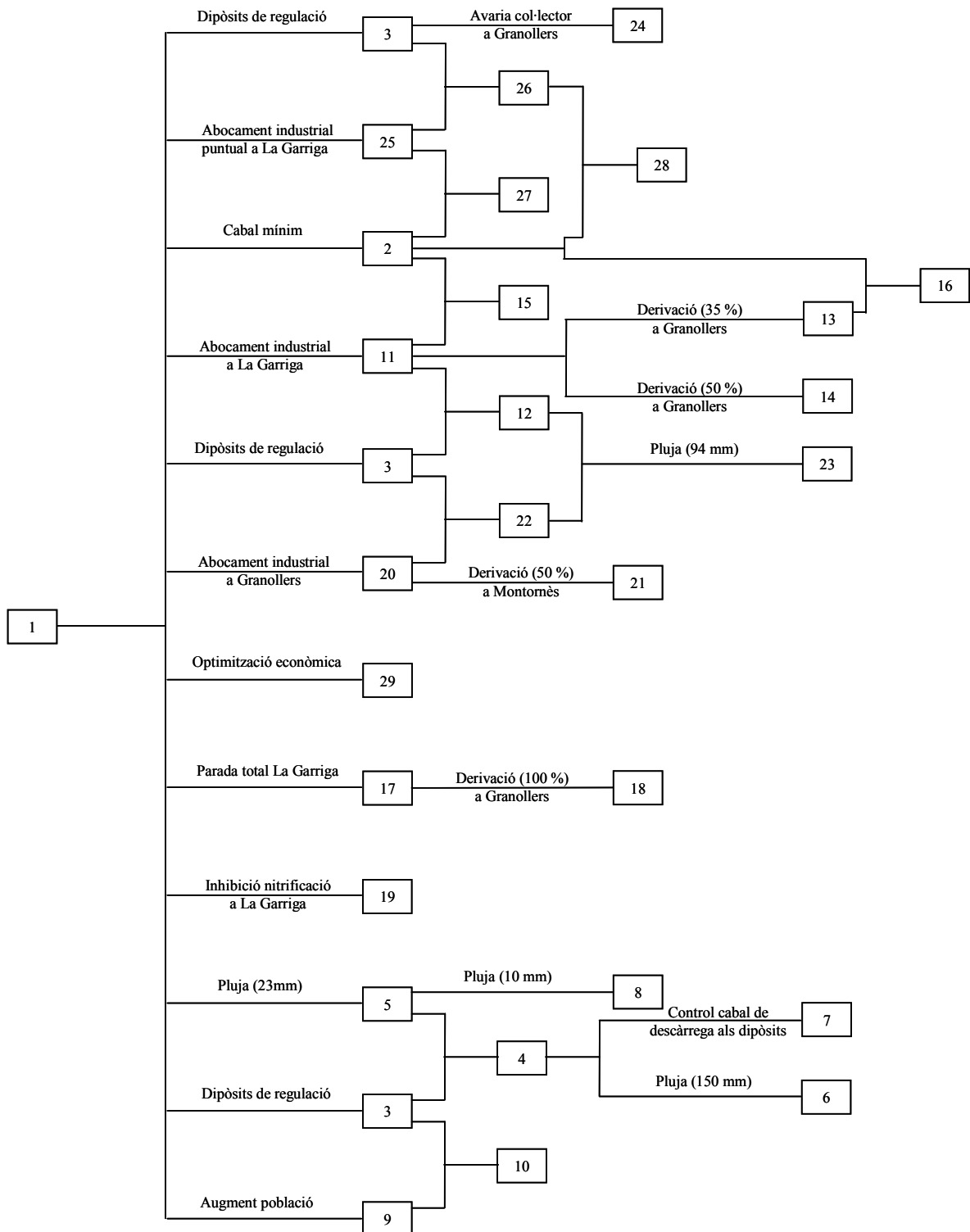
Es simula una situació de màxima derivació del cabal d'entrada de l'EDAR de la Garriga cap a l'EDAR Granollers. Excepte aquesta variable, es mantenen les mateixes condicions respecte a l'escenari 1, de referència. Segons els gestors del CDCRB, el cost de depuració per metre cúbic a l'EDAR Granollers és més econòmic que a l'EDAR de La Garriga. En condicions òptimes, per tant, es podria plantejar el derivar el màxim cabal possible cap a l'EDAR Granollers, per obtenir un major rendiment econòmic. No obstant, no es pot derivar tot el cabal cap a l'EDAR Granollers, ja que existeixen uns cabals mínims de sortida d'EDAR per garantir el cabal ecològic del riu Congost. En el cas de La Garriga aquest cabal mínim és de  $1800 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . És per això que s'ha cregut necessari reproduir aquesta situació. S'ha simulat una derivació, cap a l'EDAR Granollers, de tot el cabal d'entrada a La Garriga superior als  $1800 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . L'objectiu d'aquest escenari és el d'avaluar si la derivació produeix diferències significatives en la qualitat de l'aigua del riu Congost.

En la Taula 4.1 es presenta una relació de les modificacions introduïdes als models, indicant el número de l'escenari afectat per cada modificació. Cadascun dels escenaris incorpora una modificació o una combinació d'aquestes.

**Taula 4.1.** Modificacions introduïdes als models per generar escenaris.

Modificació	Resum	Escenaris afectats
Cabal mínim	Es modifica el cabal inicial del riu Congost. Dels $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ es passa als $0.01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .	2, 15, 16, 27, 28
Dipòsits de regulació	S'afegeixen dipòsits de regulació als sistemes de clavegueram per laminar el cabal en temps sec.	3, 4, 6, 12, 22, 23, 24, 26, 28
Control del cabal de descàrrega als dipòsits	S'implementa un control del cabal de descàrrega dels dipòsits per evitar l'actuació dels sobreexidors del sistema de clavegueram en temps de pluja.	7
Pluja (10 mm)	S'introdueix una pluja de 10 mm, en un període de 5 hores.	8
Pluja (23 mm)	S'introdueix una pluja de 23 mm, en un període de 12 hores.	4, 5, 7
Pluja (94 mm)	S'introdueix una pluja de 94 mm, en un període de 48 hores.	23
Pluja (150 mm)	S'introdueix una pluja de 150 mm, en un període de 48 hores.	6
Augment de població	Es modifica la població connectada als sistemes de clavegueram, estimant un creixement del 25% pel conjunt dels municipis estudiats.	9, 10
Abocament industrial a La Garriga	S'introdueix un abocament industrial al sistema de clavegueram de La Garriga, de forma que provoqui un impacte considerable a l'EDAR.	11, 12, 13, 14, 15, 16, 23
Abocament industrial a Granollers	S'introdueix un abocament industrial, amb les mateixes característiques que l'anterior, al sistema de clavegueram Granollers.	20, 21, 22, 23
Abocament industrial puntual a La Garriga	S'introdueix un abocament industrial al sistema de clavegueram de La Garriga, concentrat en un període de dues hores diàries i durant dos dies.	25, 26, 27, 28
Derivació (35%) a Granollers	Es modifica el cabal d'entrada a l'EDAR La Garriga, derivant el 35% d'aquest cap a l'EDAR Granollers.	13, 16
Derivació (50%) a Granollers	Es modifica el cabal d'entrada a l'EDAR La Garriga, derivant el 50% d'aquest cap a l'EDAR Granollers.	14
Derivació (100%) a Granollers	Es modifica el cabal d'entrada a l'EDAR La Garriga, derivant el 100% d'aquest cap a l'EDAR Granollers.	18
Derivació (50%) a Montornès	Es modifica el cabal d'entrada a l'EDAR Granollers, derivant el 50% d'aquest cap a l'EDAR de Montornès del Vallès.	21
Avaria col·lector	Es suprimeix un tram de col·lector del sistema de clavegueram de Granollers.	24
Parada total a La Garriga	S'introdueix una parada total de l'activitat de l'EDAR La Garriga.	17, 18
Inhibició nitrificació a La Garriga	S'introdueix una inhibició de la nitrificació a l'EDAR La Garriga.	19
Optimització econòmica	Es deriva el màxim cabal possible de l'EDAR La Garriga a l'EDAR de Granollers, on el cost econòmic de depuració per cada $\text{m}^3$ és menor.	29

Tots els escenaris parteixen de l'escenari 1 de referència, a partir del qual s'han anat introduint les modificacions que defineixen els escenaris següents. En la Figura 4.1 es presenta un diagrama on es mostren aquestes modificacions i les relacions entre els escenaris.



**Figura 4.1.** Número d'escenari segons les modificacions introduïdes.

### 4.3. Resultats i anàlisi dels escenaris

En aquest apartat es presenten els resultats dels escenaris definits en l'apartat anterior i una breu anàlisi de cadascun. S'han elaborat quatre fitxes per escenari. En la primera fitxa hi consten les dades d'entrada dels models que s'han anat modificant per a cada escenari. En les altres tres fitxes s'han representat, de forma gràfica, els resultats de sortida de cada model pel cabal, l'amoni i la DBO. La representació del cabal resulta bàsica per analitzar els efectes de les derivacions, pluges o dipòsits de retenció. Per valorar la qualitat de l'aigua s'han representat les concentracions d'amoni i DBO, paràmetres que s'han pogut simular al llarg dels tres models utilitzats. S'ha optat per una representació gràfica dels resultats per facilitar-ne l'anàlisi i la comparació entre escenaris. D'aquesta forma, en cada escenari hi ha una fitxa per a cada paràmetre (cabal, amoni i DBO) que inclou les següents gràfiques:

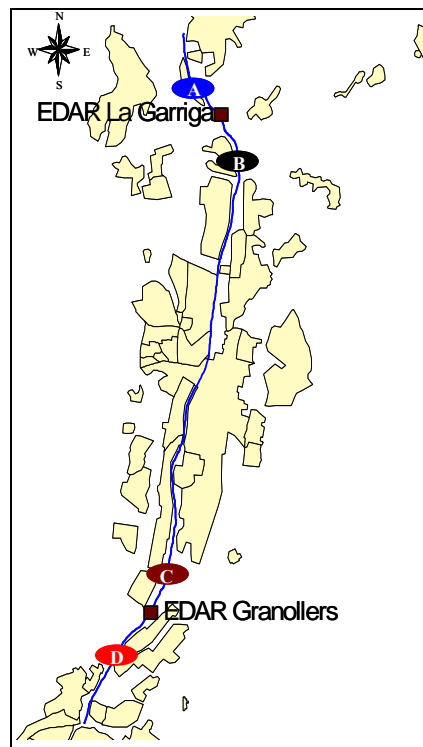
- Resultats del paràmetre a l'efluent del sistema de clavegueram de La Garriga.
- Resultats del paràmetre a l'efluent del sistema de clavegueram de Granollers.
- Resultats del paràmetre a l'efluent de l'EDAR La Garriga.
- Resultats del paràmetre a l'efluent de l'EDAR Granollers.
- Resultats del paràmetre al punt de control A del riu Congost.
- Resultats del paràmetre als punts de control B i C del riu Congost.
- Resultats del paràmetre al punt de control D del riu Congost.

En el cas del model del riu Congost s'han definit 4 punts de control, també per facilitar l'anàlisi dels escenaris. Com que el model del riu Congost està dividit en petits trams de càlcul per als quals dona els resultats de les simulacions, els punts de control es corresponen amb la ubicació d'alguns d'aquests trams de càlcul, encara que el número i posició final dels punts de control es deu a criteris estratègics. S'han triat 4 punts de control, tenint en compte la posició dels abocaments de les EDAR. Aquests 4 punts de control corresponen al nombre mínim de punts que calen per representar les variacions de cabal i qualitat de l'aigua simulades al riu Congost per a cada escenari. S'ha considerat que afegir altres punts de control complicaria l'anàlisi dels escenaris sense aportar més informació rellevant. Els quatre punts de control triats són els següents:

- Punt de control A: situat a 1.5 km de l'inici del tram de riu estudiat i 0.2 km aigües amunt de l'abocament de l'EDAR La Garriga.
- Punt de control B: situat a 2.5 km de l'inici del tram de riu estudiat i 1 km aigües avall de l'abocament de l'EDAR la Garriga.

- Punt de control C: situat a 12.4 km de l'inici del tram de riu estudiat i 0.1 km aigües amunt de l'abocament de l'EDAR Granollers.
- Punt de control D: situat a 12.9 km de l'inici del tram de riu estudiat i 0.4 km aigües avall de l'abocament de l'EDAR Granollers.

En la Figura 4.2 es presenta, gràficament, la ubicació del punts de control.



**Figura 4.2.** Punts de control del riu Congost.

Després de les quatre fitxes es presenta una breu anàlisi dels resultats, per a cada escenari. Per fer l'anàlisi dels resultats gràfics, cal tenir en compte que les escales dels eixos de les ordenades (on s'hi representa el cabal, la concentració d'amoni o la concentració de DBO) no són sempre les mateixes. Aquestes variacions responen a la necessitat de visualitzar cada escenari en una escala adequada a la magnitud del procés que s'està simulant (pluja, abocaments, etc.). Sempre que ha estat possible però, s'han mantingut les mateixes escales per poder establir comparacions entre escenaris.

L'anàlisi consisteix en analitzar, un per un, els resultats dels escenaris, comparant-los entre ells, i centrant l'atenció, sobretot, en les conseqüències que les diferents estratègies definides en cada escenari tenen sobre la qualitat de l'aigua del riu. L'anàlisi dels escenaris es fa en base a la situació de referència de l'escenari 1, el qual ha servit de punt de partida per totes les modificacions realitzades en els altres escenaris.

La valoració dels canvis en la qualitat de l'aigua, produïts en cada escenari, s'ha fet, bàsicament, tenint en compte la toxicitat de l'amoni. Al riu, es considera que concentracions persistents d'amoni total majors que  $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a pH 8 i una temperatura de  $16^\circ \text{C}$ , són tòxiques per la vida aquàtica. Prat *et al.* (2002) defineixen 5 graus de toxicitat de l'aigua segons la concentració d'amoni (Taula 4.2).

**Taula 4.2.** Graus de toxicitat de l'aigua segons la concentració d'amoni (Prat *et al.*, 2002).

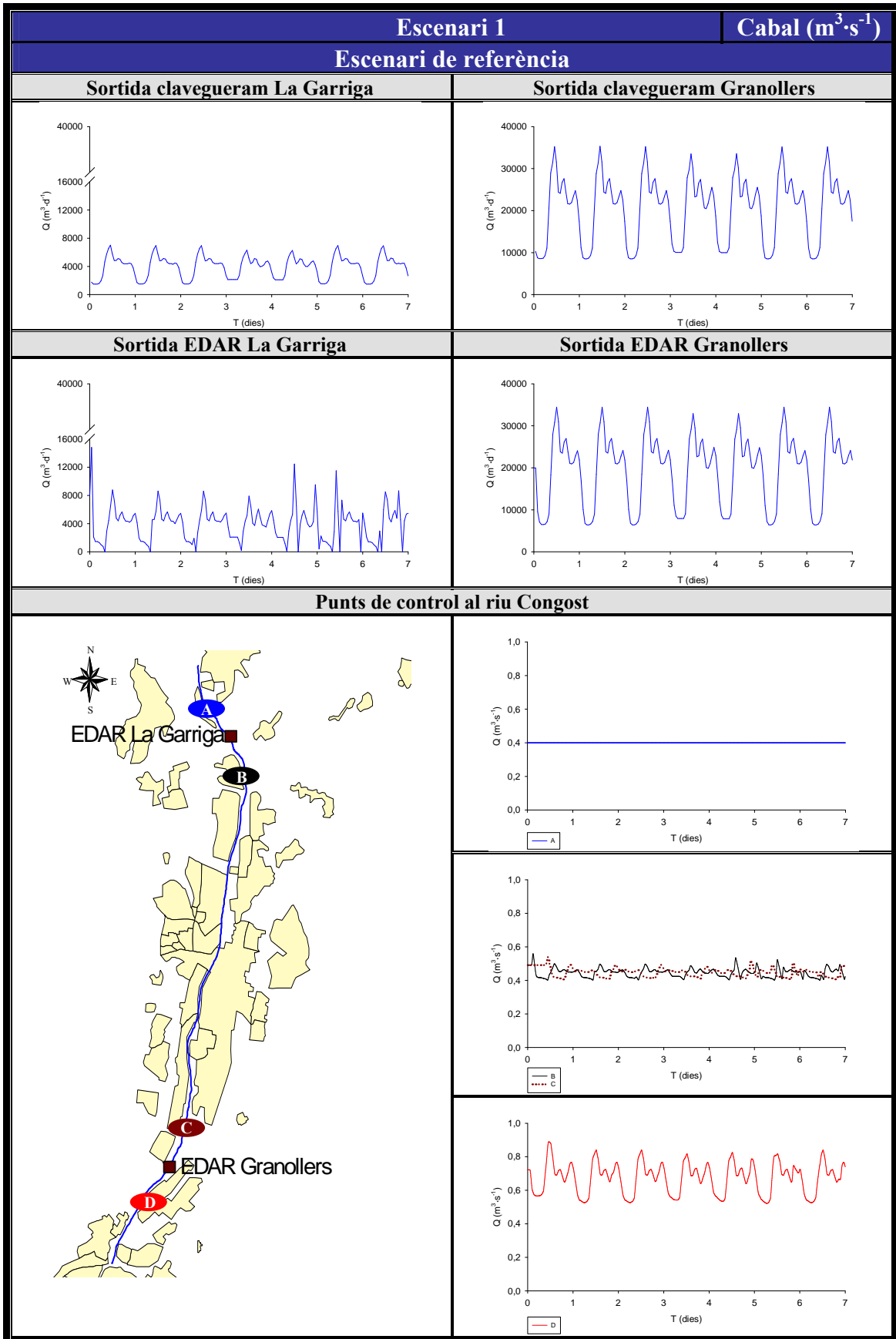
Grau	Amoni ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Descripció
1	< 0.1	Aigües netes, sense gens d'estrès pels organismes
2	0.1-0.4	Aigües en què els organismes poden presentar símptomes d'estrès depenent del pH i del temps de permanència
3	0.5-0.9	Aigües amb un elevat percentatge de probabilitats de presentar desequilibris importants en el funcionament de l'ecosistema
4	1-4	Aigües que comporten un fort estrès per a la comunitat d'organismes, o bé toxicitat aguda per a determinades espècies
5	>4	Aigües molt contaminades i amb un grau elevat de toxicitat

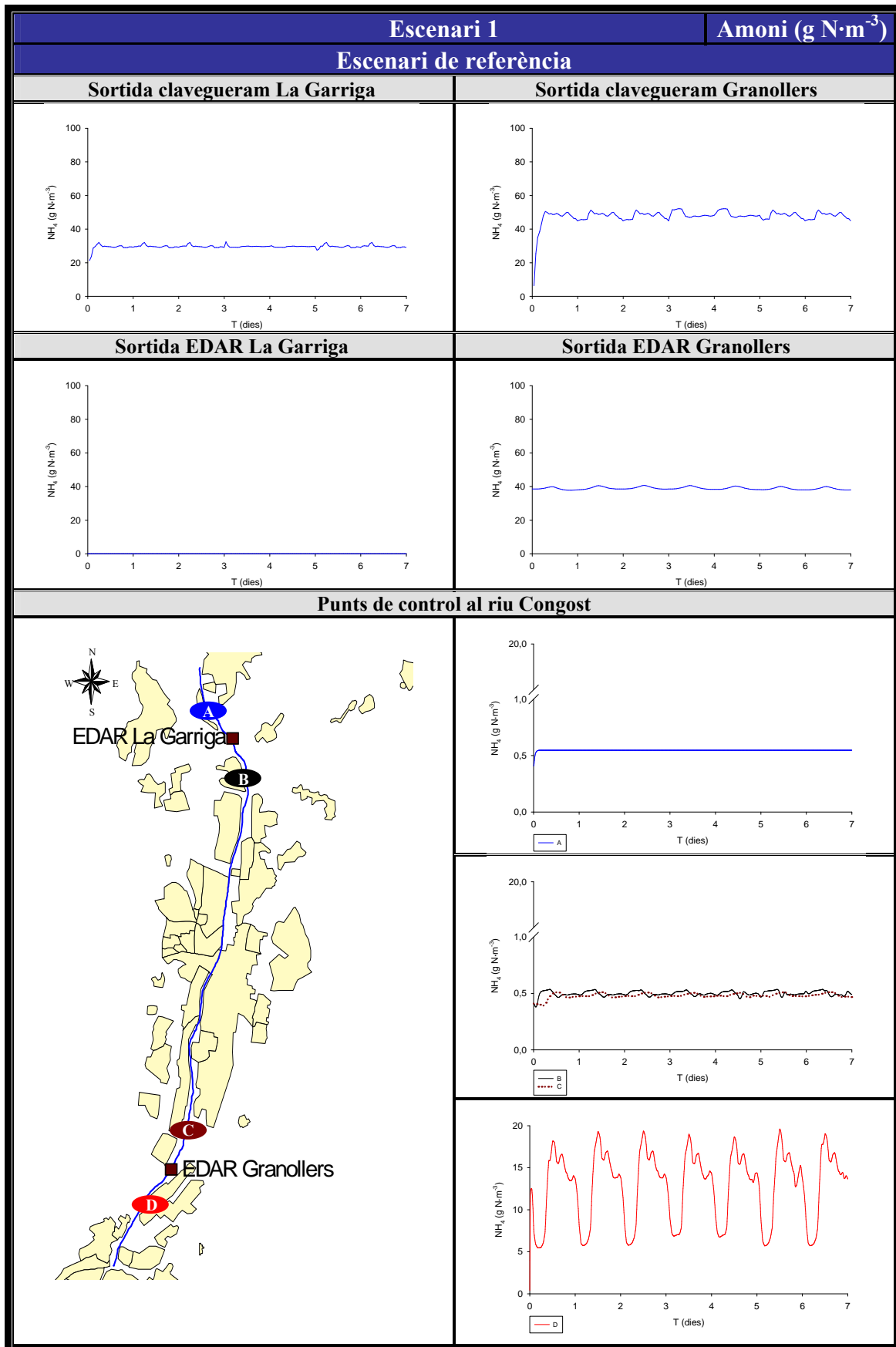
D'aquesta forma es considera que les concentracions menors que  $0.1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  no afecten a la vida aquàtica, i d'entre  $0,2$  i  $0,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  (concentracions que es poden trobar als rius de forma natural) tampoc tenen afectació si els valors de pH es mantenen entre 6 i 8. Concentracions majors però per sota d' $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  poden ser tòxiques en funció del pH. A partir d' $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  de concentració d'amoni ja es fan presents els signes de toxicitat per a moltes espècies i, quan els valors superen els  $4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  es considera que l'aigua ja és molt tòxica.

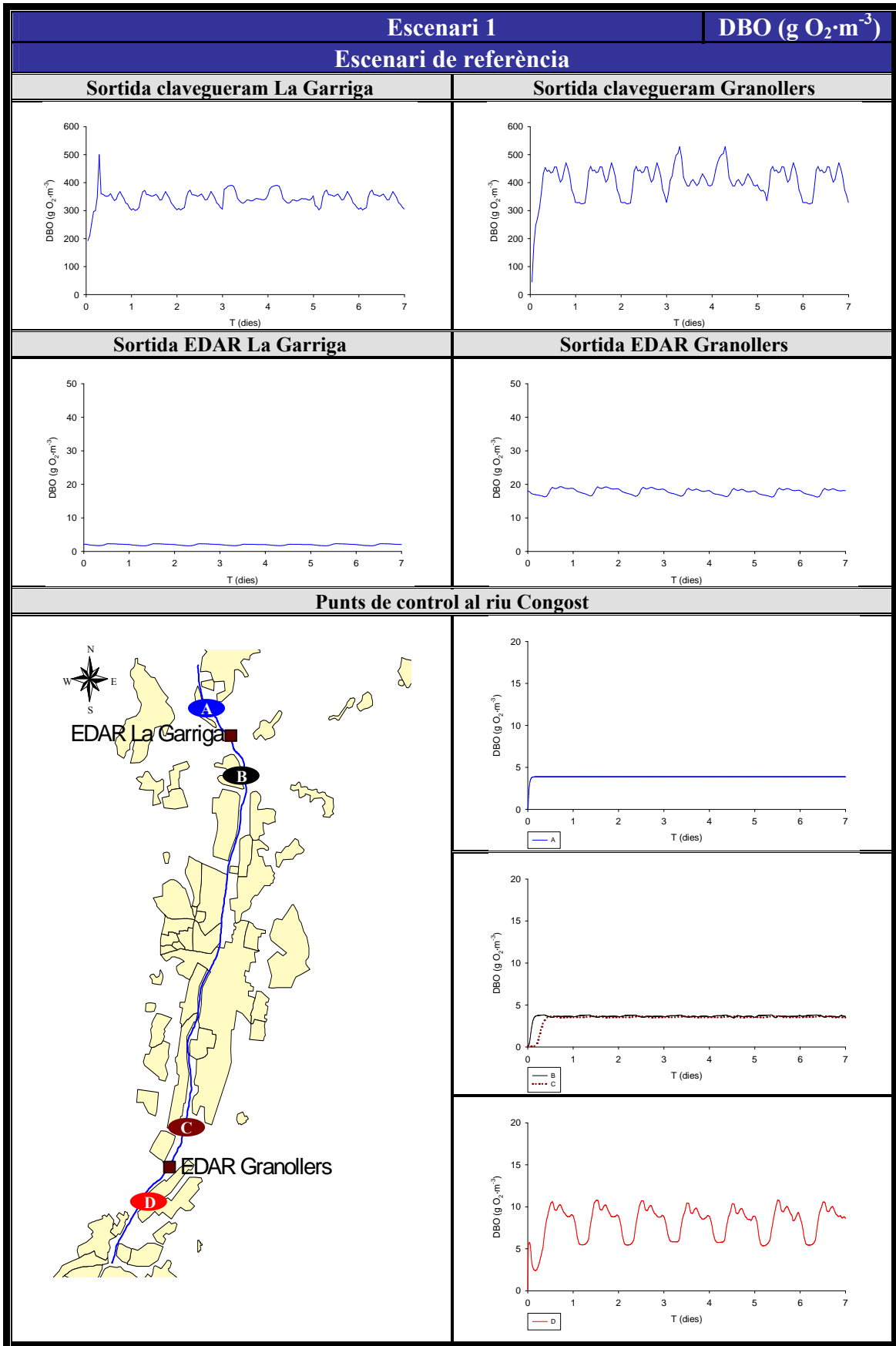
Per fer l'anàlisi dels escenaris s'ha assumit el valor d' $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  de concentració d'amoni a l'aigua del riu Congost, com a valor de referència al qual no s'ha d'arribar, sempre que sigui possible.

<b>Escenari 1</b>					
<b>Escenari de referència</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.4	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3959		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19543	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	2.01		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.84	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.11		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	38.92	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.22		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.06	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









---

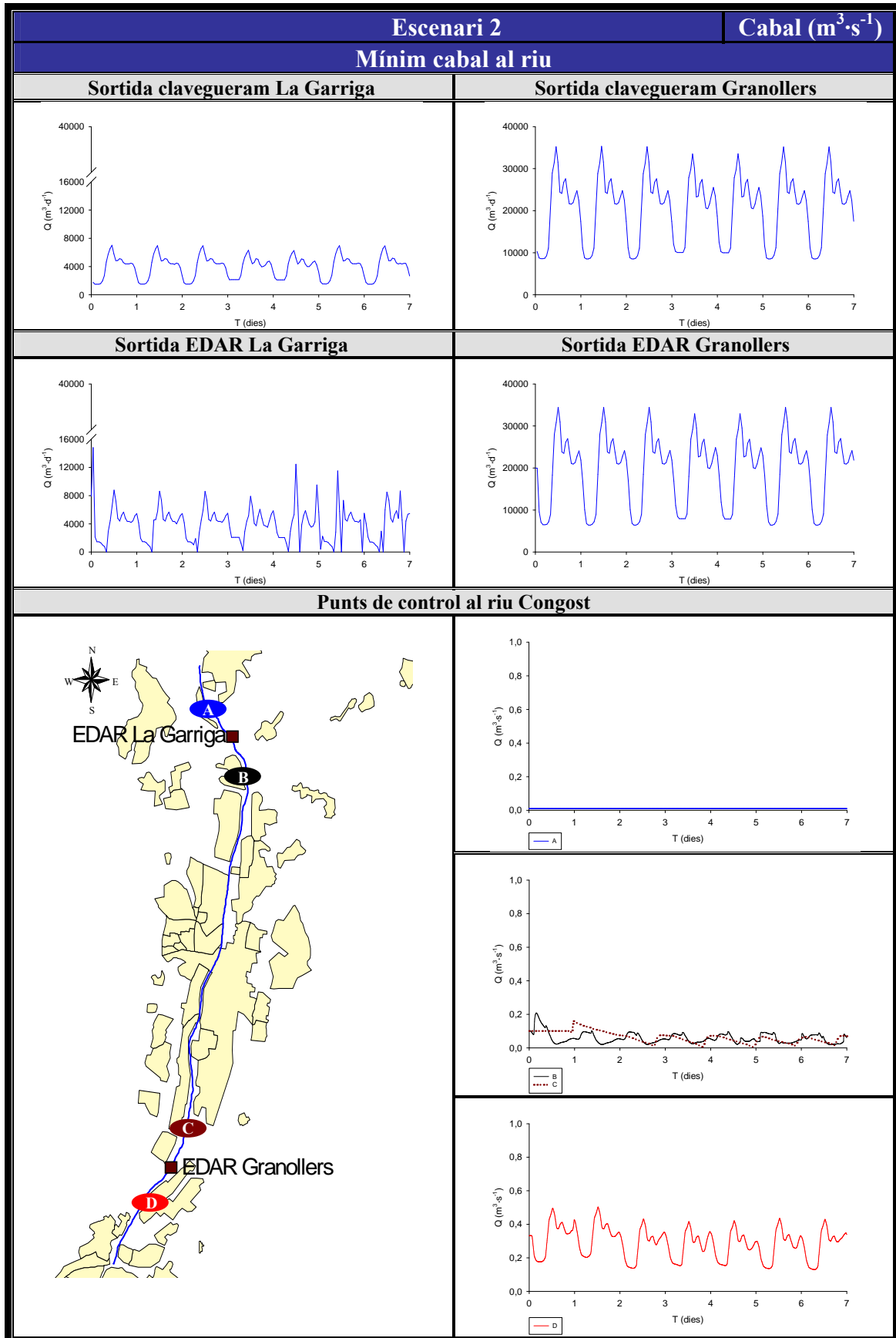
**Escenari 1: Escenari de referència**

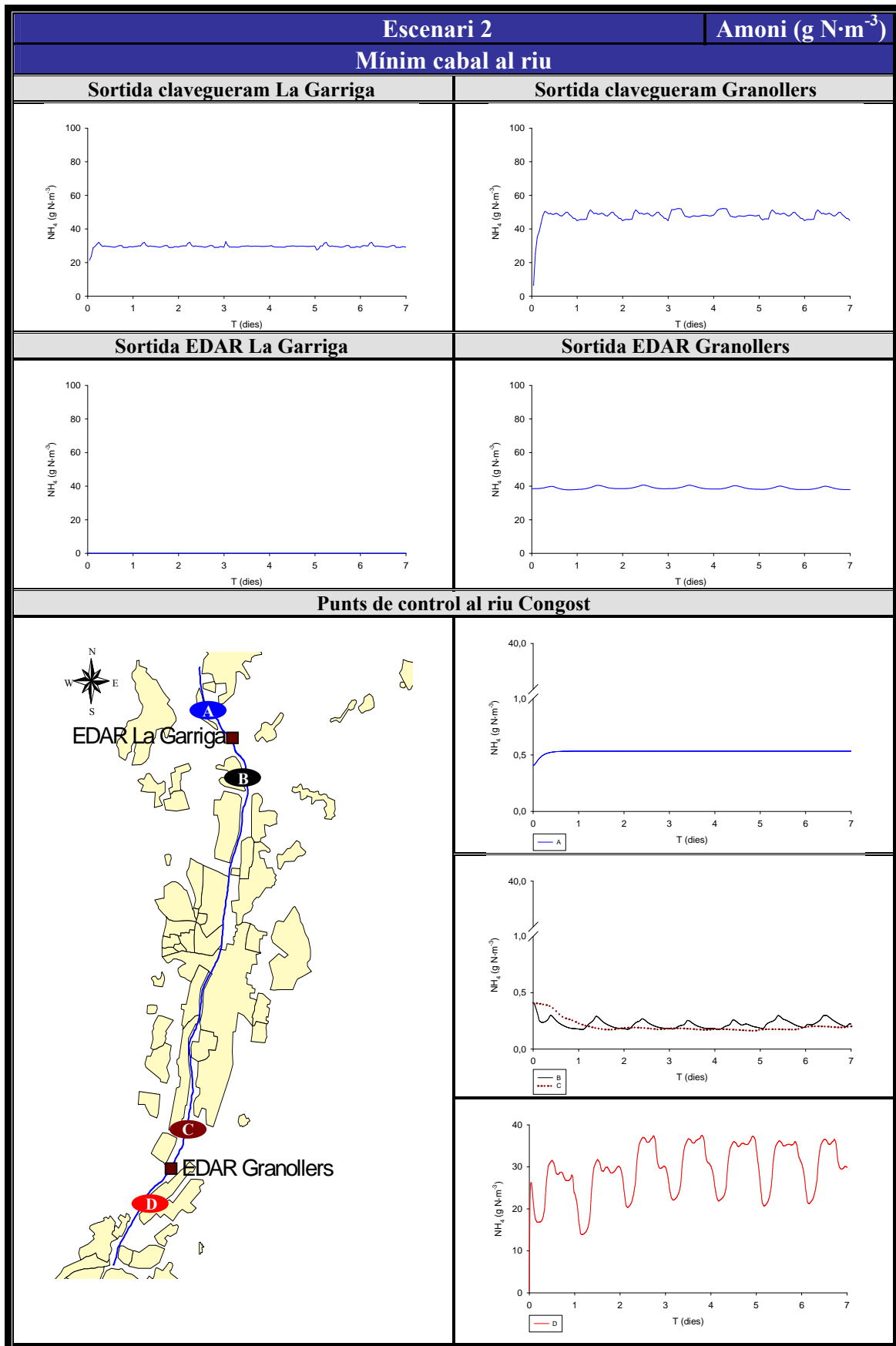
---

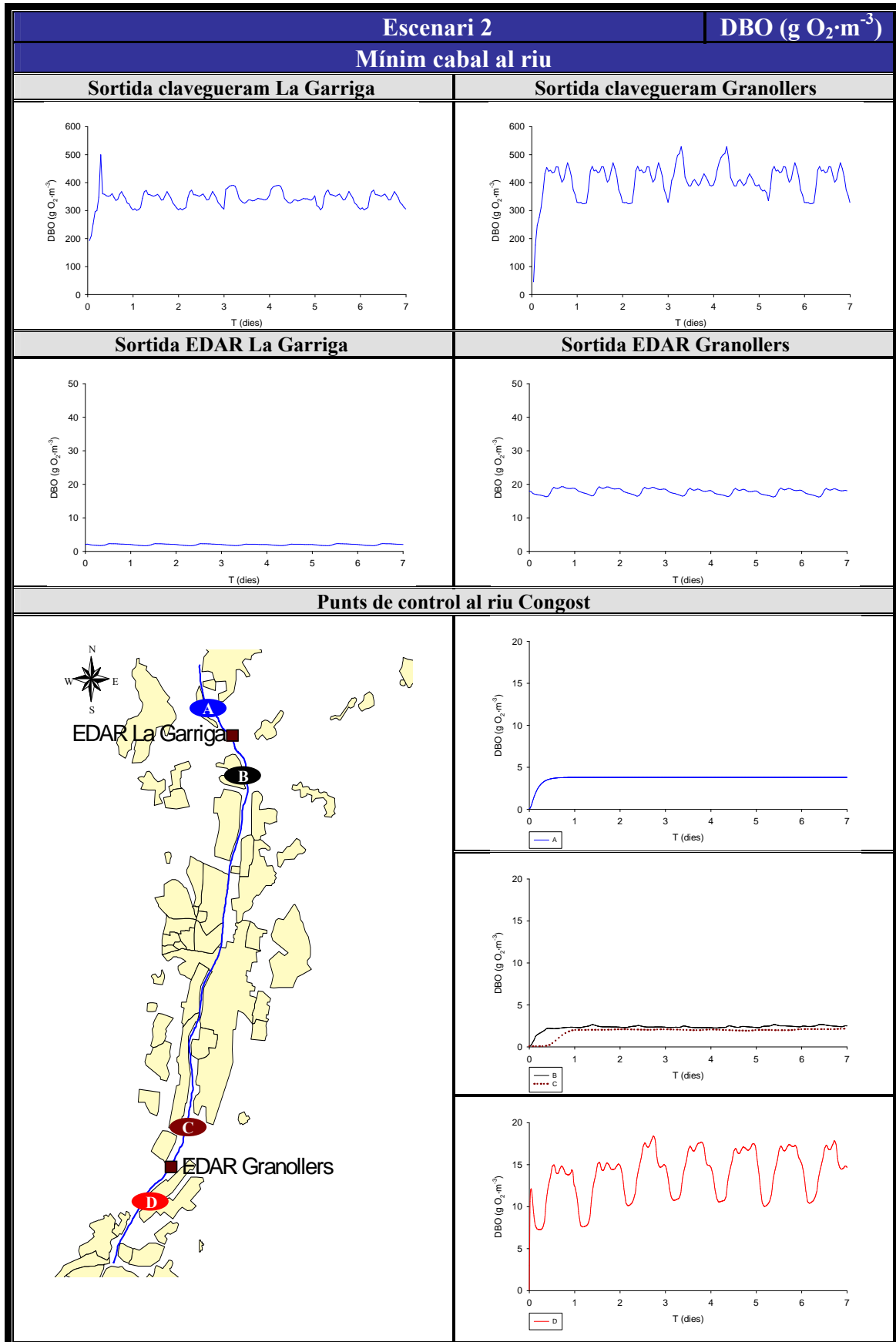
Aquest escenari actua com a situació de referència, on es simulen els abocaments al riu Congost de l'EDAR de La Garriga, que amb un procés de nitrificació complerta, elimina l'amoni quasi en la seva totalitat, i de Granollers, on no s'arriba a un procés de nitrificació estable. La influència de les dues EDAR en el riu, és molt diferent, no només per la diferència en el procés de nitrificació, sinó pel cabal abocat. Així, el cabal mitjà de sortida de l'EDAR de La Garriga és d'uns  $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , que representa un 12% respecte al cabal mitjà inicial del riu, mentre que el de Granollers està al voltant dels  $20000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , que equival a un 52% respecte al cabal mitjà del riu, en el punt just abans de l'abocament.

Pel que fa a la concentració d'amoni i DBO, els resultats del model de clavegueram de Granollers són una mica més elevats que els de La Garriga, ja que a Granollers s'hi contempla una major activitat industrial. La concentració d'amoni en els primers quilòmetres del riu, abans de l'abocament de Granollers, estaria per sota del valor límit ( $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ), observant-se, fins i tot, un lleuger efecte de dilució després de l'abocament de l'EDAR de La Garriga. A partir de l'abocament de Granollers els valors límit es sobrepassen àmpliament. Aquest és l'escenari de referència, el qual es considera que s'aproxima més a la realitat i, per tant, es parteix de la base que a partir de l'abocament de l'EDAR de Granollers, la qualitat de l'aigua és molt baixa. En canvi, en el tram superior del riu Congost, la qualitat de l'aigua basada en la concentració d'amoni, no arriba al límit de toxicitat. Aquest tram, per tant, és el més vulnerable a possibles alteracions i és el que s'intenta preservar amb moltes de les actuacions plantejades en els escenaris posteriors.

<b>Escenari 2</b>					
<b>Mínim cabal al riu</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.01	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3959		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19543	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	2.01		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.84	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.11		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	38.92	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.22		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.06	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









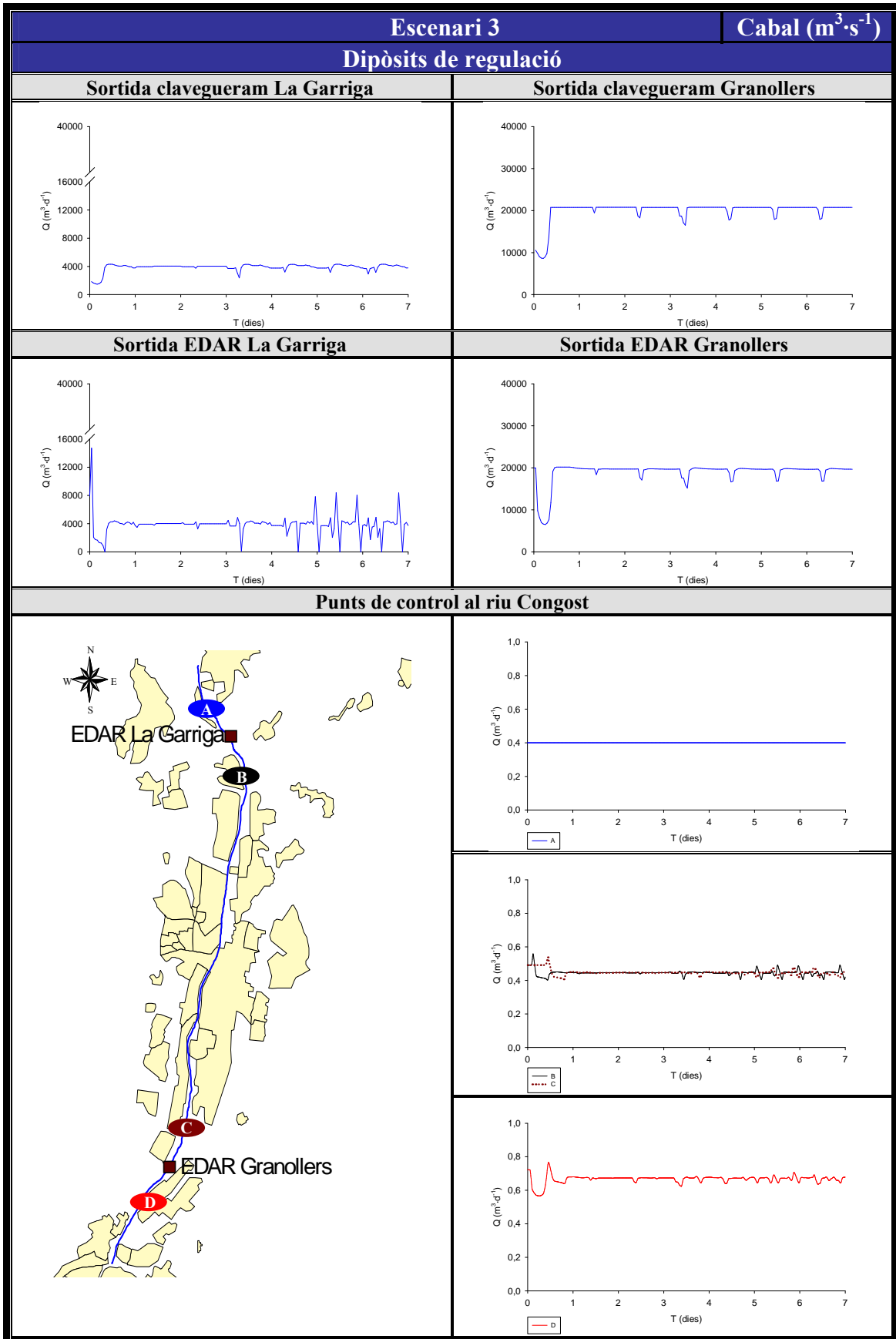
---

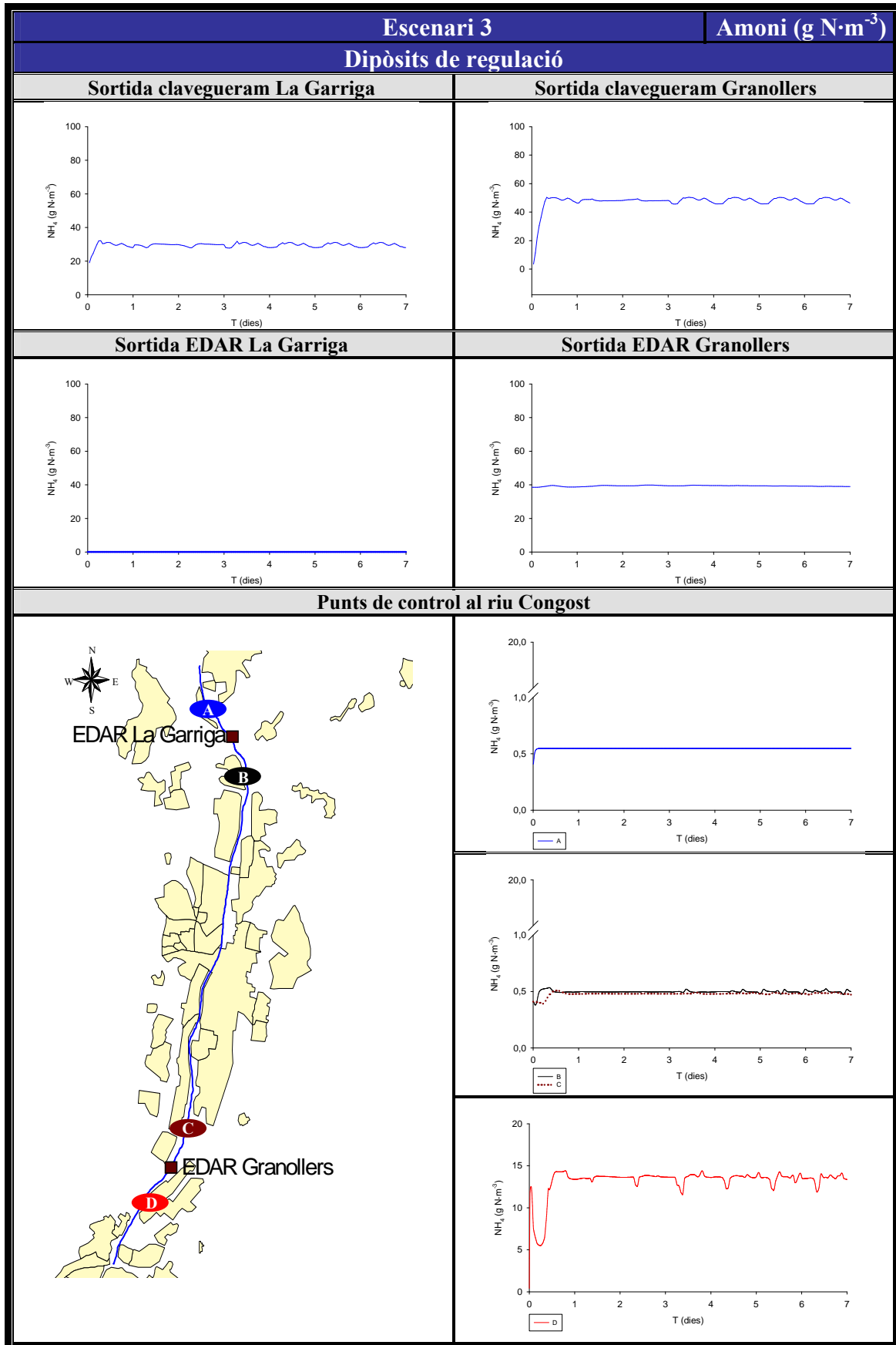
**Escenari 2: Mínim cabal al riu**

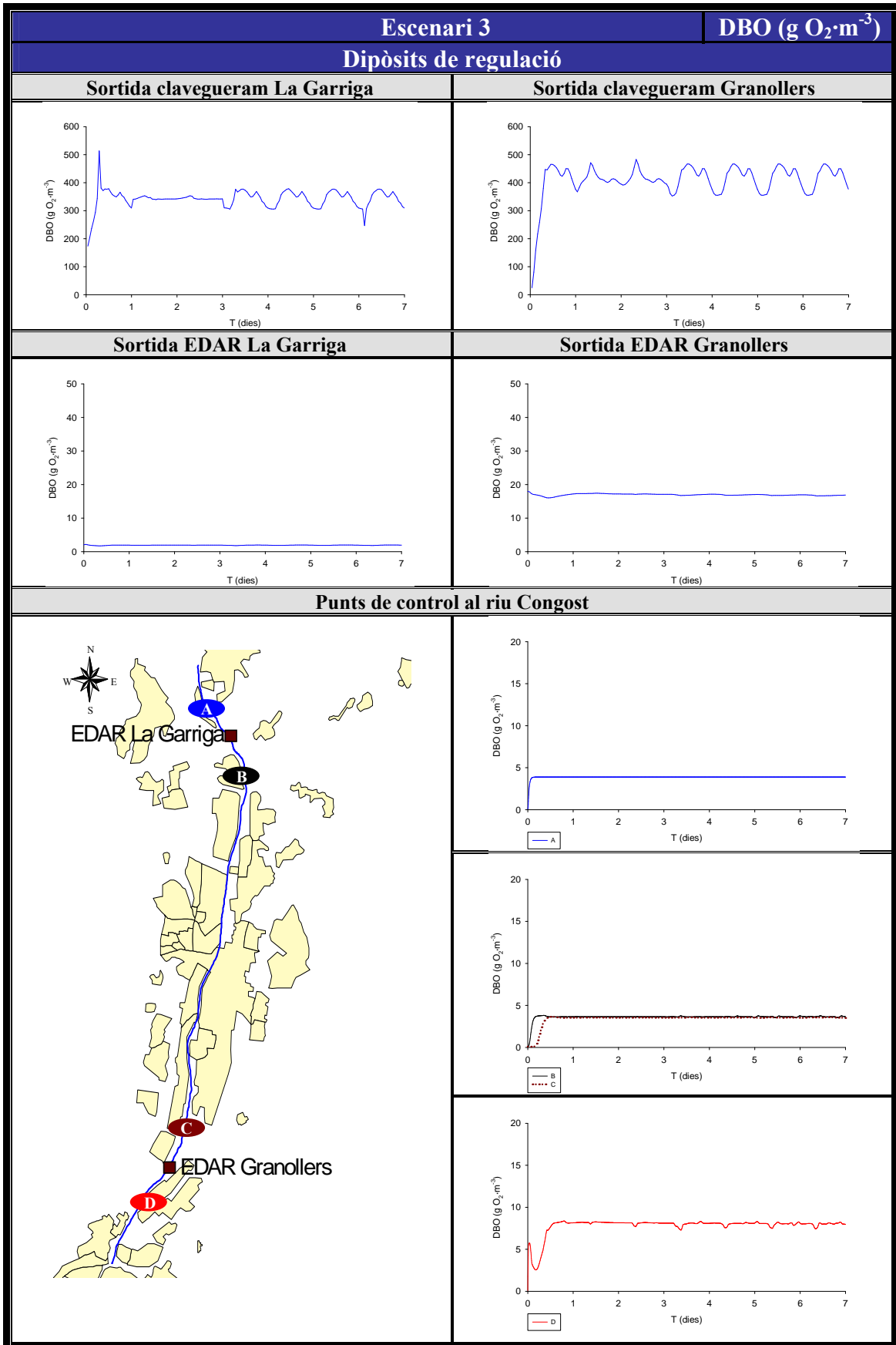
---

Si es comparen els gràfics d'amoni als trams B-C del riu Congost respecte als de l'escenari 1, s'observa una disminució produïda per l'efecte de dilució que produeix l'efluent de l'EDAR de La Garriga, que està abocant a concentracions més baixes que les que porta el riu. En canvi, al tram D, després de l'abocament de l'efluent de Granollers, la concentració mitjana d'amoni passa de  $13 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , simulats a l'escenari 1, a  $29 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  en la situació de cabal mínim. La mateixa situació es dona respecte la DBO, passant, al tram D, dels  $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , de l'escenari 1, als  $14 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  d'aquest escenari.

<b>Escenari 3</b>					
<b>Dipòsits de regulació</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3882	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20026
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	410
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	29		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	47
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	271		MES (g·m <sup>-3</sup> )	317
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.4	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3856		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	18962	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1.92		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	16.96	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.10		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	39.33	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.09		MES (g·m <sup>-3</sup> )	18.55	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					





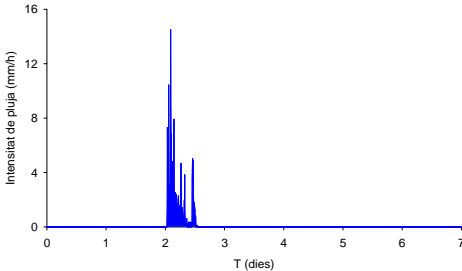


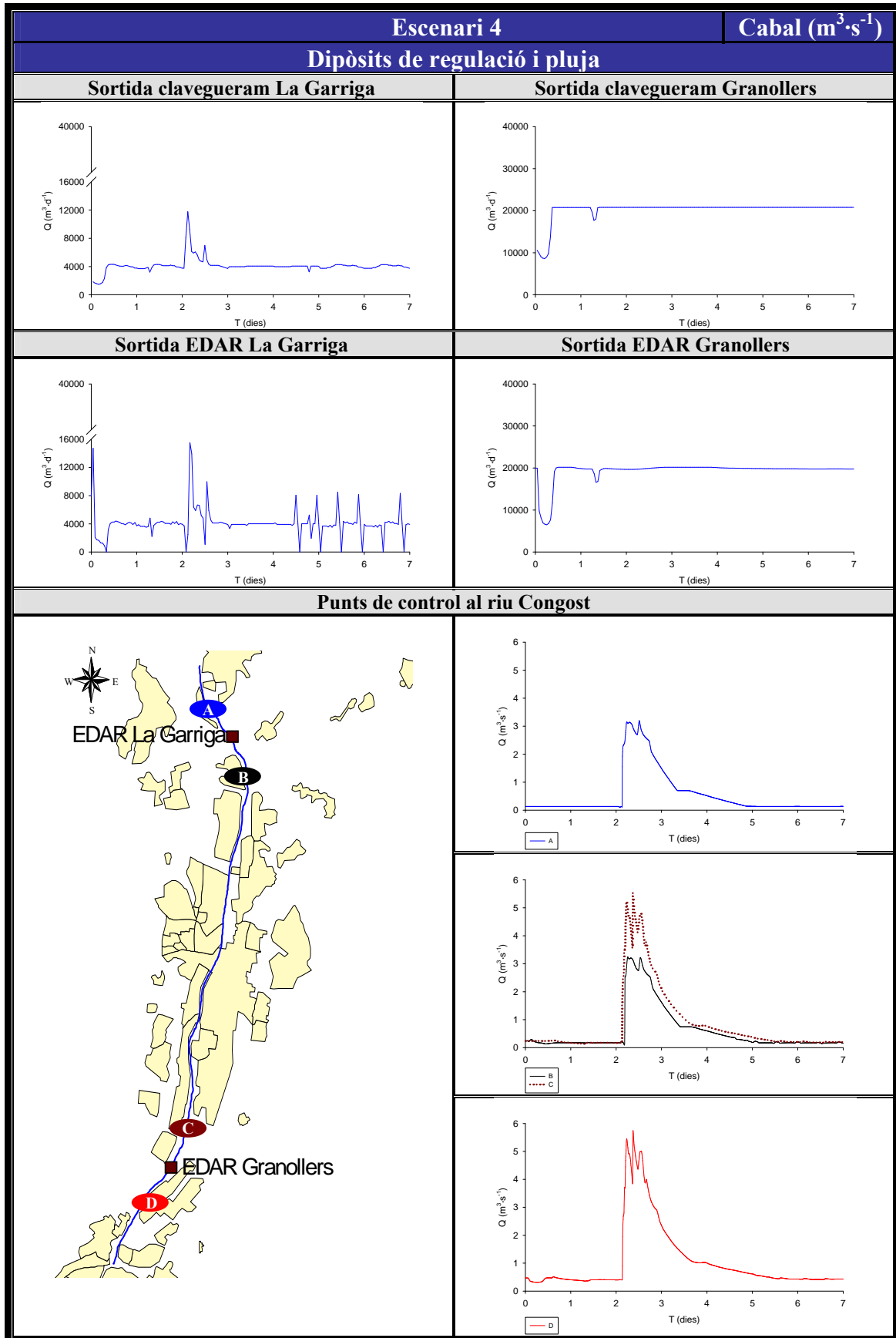
---

**Escenari 3: Dipòsits de regulació**

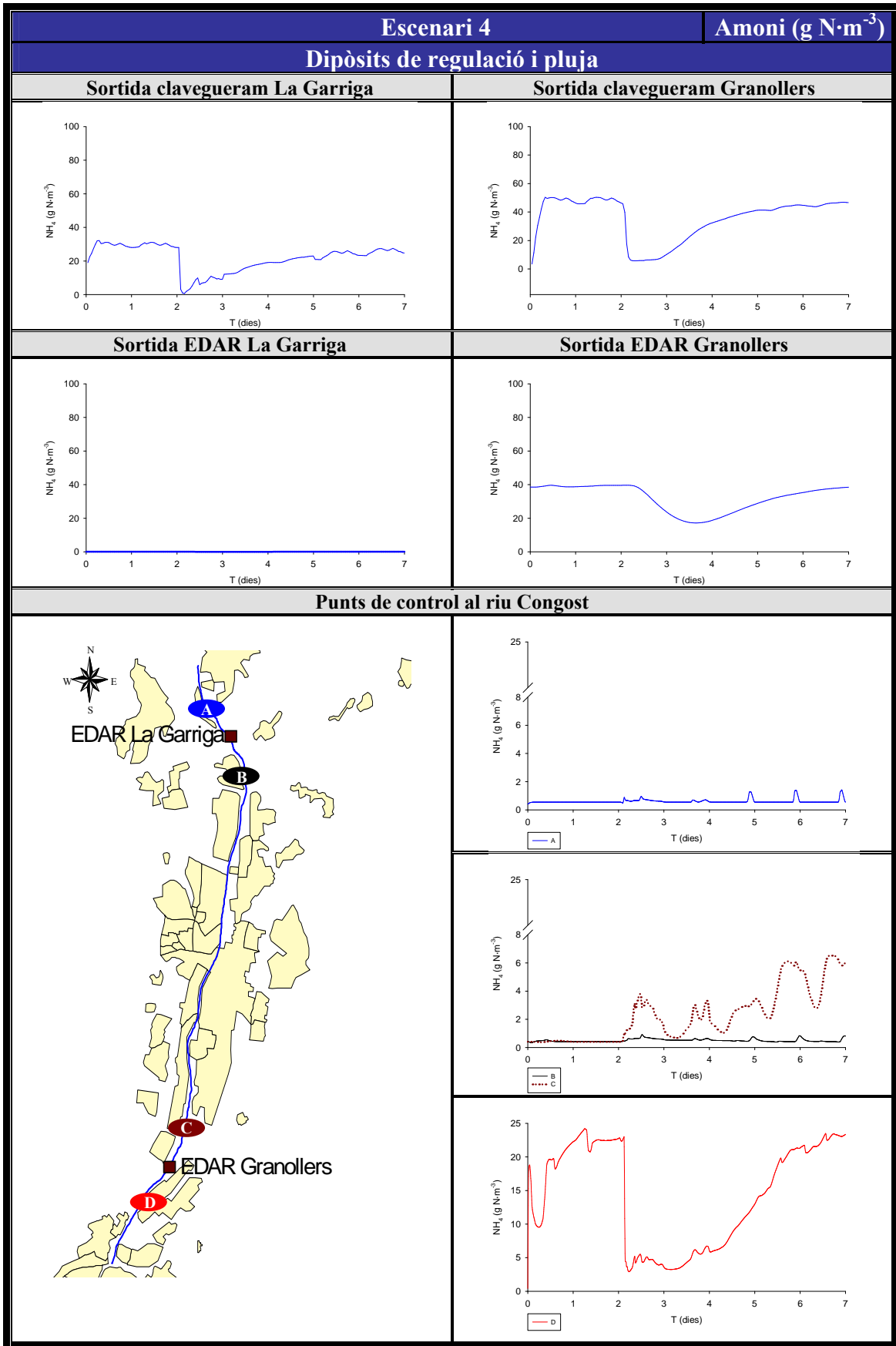
---

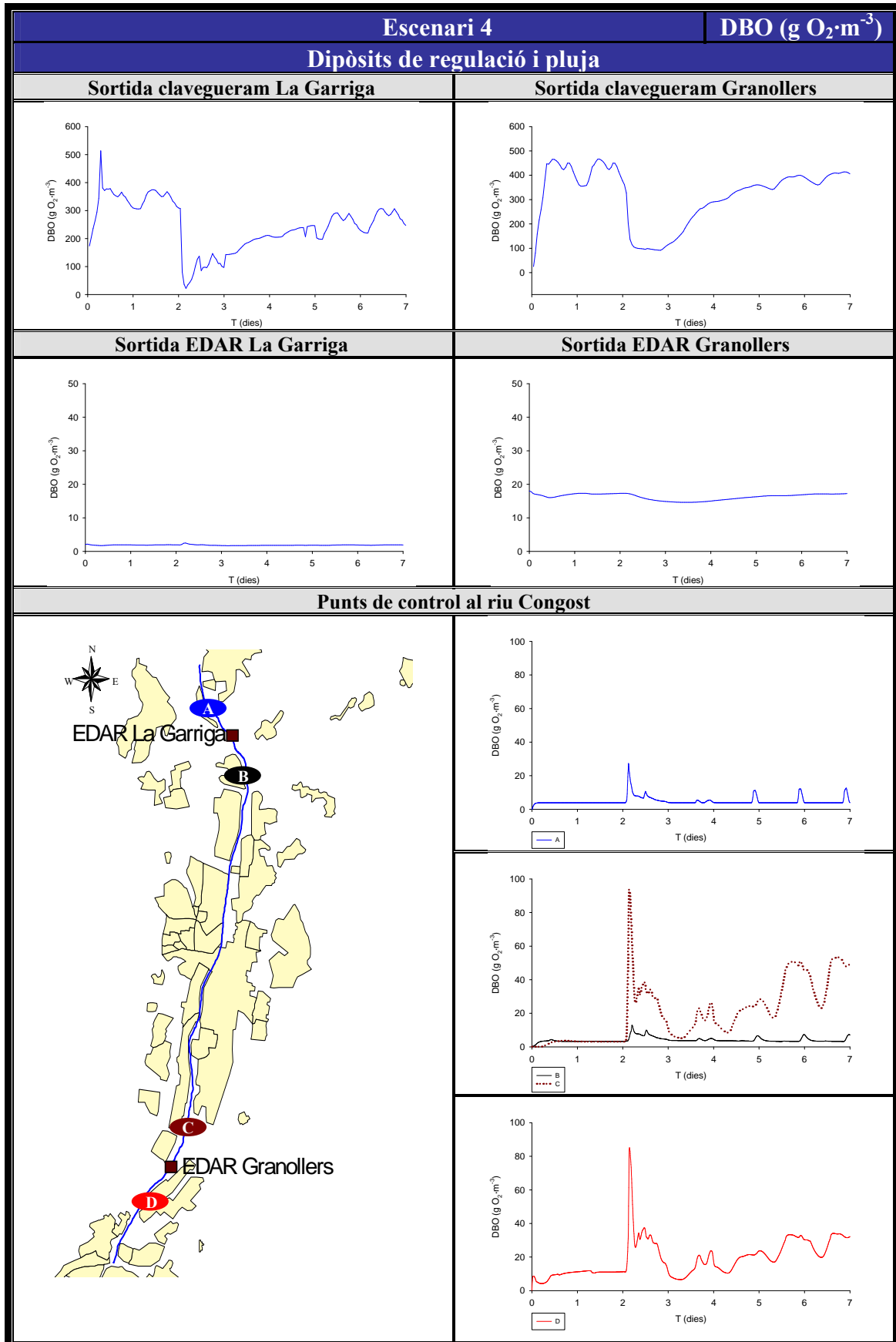
A l'escenari 3 es pot observar l'efecte de laminació dels dipòsits de regulació de cabal, en les sortides de clavegueram dels dos sistemes. Cada dipòsit té un cabal de descàrrega fix, calculat a partir de l'anàlisi dels cabal que li arriba en temps sec. Els dipòsits s'han d'acabar buidant del tot, cada dia, durant les hores en què el cabal d'entrada és mínim, de forma que no acumulin aigua al llarg del temps. Aquest efecte s'observa en els perfils de sortida dels sistemes de clavegueram. L'efecte de laminació també es pot observar en les concentracions d'amoni i de DBO dels efluent de les EDAR, sense que es produeixin variacions significatives en la qualitat de l'aigua del riu, si es consideren els valor mitjans.

<b>Escenari 4</b>					
<b>Dipòsits de regulació i pluja</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	38952		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	139181	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4101	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20216
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	244		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	317
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	22		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	36
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	204		MES (g·m <sup>-3</sup> )	303
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.48	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4114		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19303	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1.87		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	16.31	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.07		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	32.13	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.25		MES (g·m <sup>-3</sup> )	18.56	
<b>Dades generals: pluja</b>					
Pluja total acumulada: 23 mm					









---

#### **Escenari 4: Dipòsits de regulació i pluja**

---

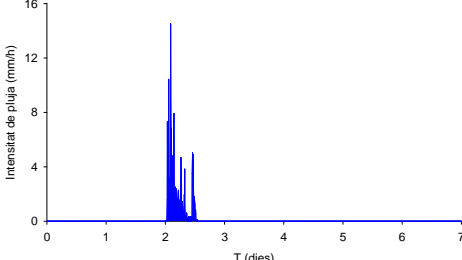
En aquesta situació els dipòsits estan dissenyats per laminar cabals en temps sec i tenen un cabal de descàrrega fix. Quan es simula la pluja (23 mm durant 12 hores), els sobreeixidors dels sistemes de clavegueram entren en funcionament i aboquen directament a riu. En els gràfics de cabal del sistema de clavegueram es pot apreciar com a Granollers la capacitat dels dipòsits es veu superada per l'episodi de pluja i la major part de l'aigua d'escorrentia que s'incorpora al clavegueram és abocada a riu a través dels sobreeixidors, provocant un increment considerable en el cabal del tram C del riu Congost, abans de rebre l'efluent de l'EDAR Granollers. En canvi, a La Garriga si que s'observa un augment en el cabal de sortida del clavegueram. Aquesta diferència es deu a que la capacitat total i de descàrrega dels dipòsits de regulació respecte a l'àrea d'escorrentia d'influència és lleugerament superior a La Garriga.

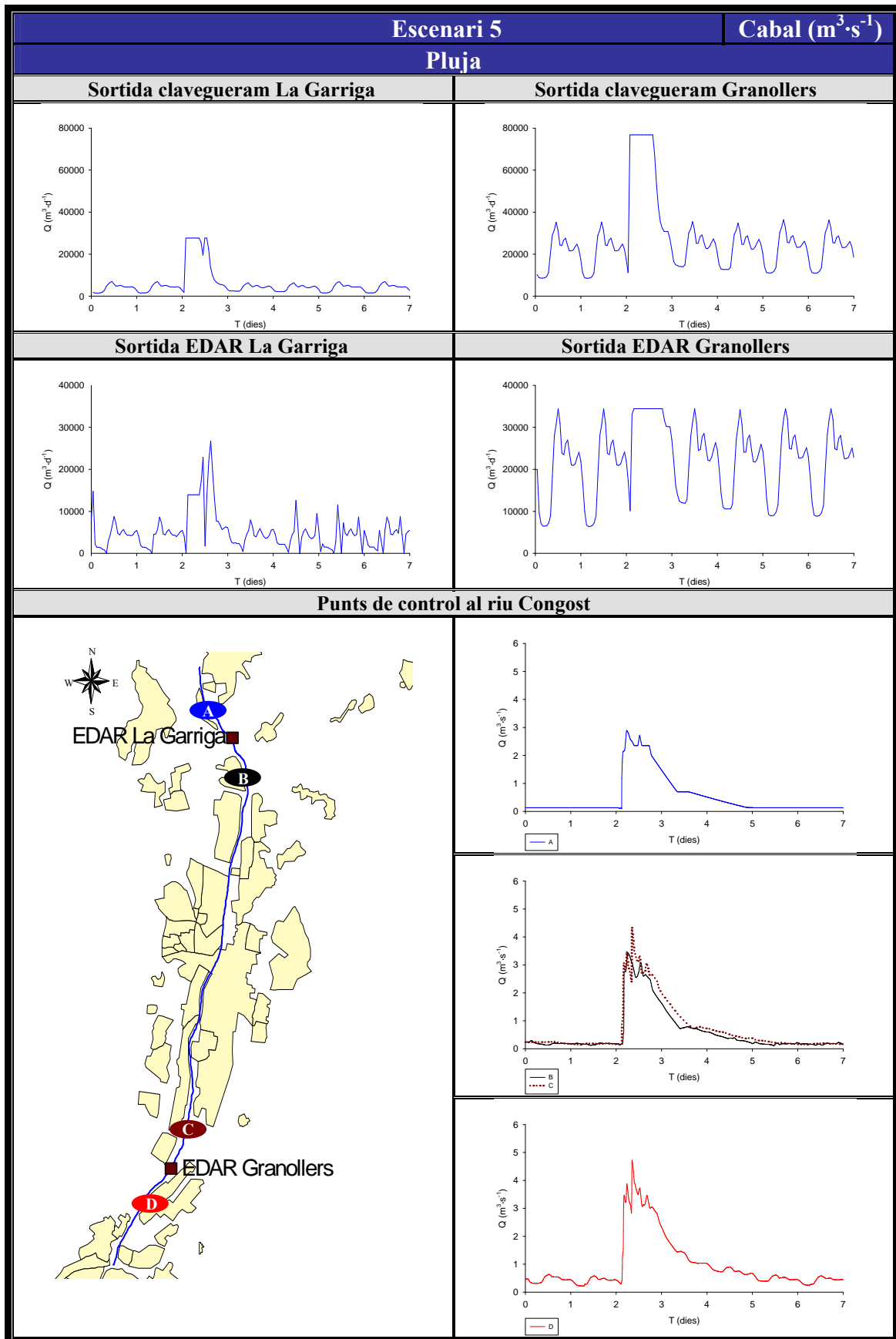
Pels resultats gràfics d'amoni i DBO es pot observar com la pluja té un efecte de dilució en les concentracions de sortida del clavegueram i de les EDAR. El riu Congost també rep la influència de l'efecte de dilució a través de l'efluent de l'EDAR Granollers. En canvi, en el tram comprès entre l'abocament de La Garriga i l'abocament de Granollers (tram B-C), es produeix un augment significatiu de les concentracions d'amoni i de DBO (si es comparen amb l'escenari 1). Aquest efecte es deu a l'acció dels sobreeixidors de Granollers, ja que els dipòsits de regulació s'han vist desbordats per l'episodi de pluja. Aquests sobreeixidors aboquen directament a riu una gran quantitat d'aigua no tractada, fins i tot dies després de l'episodi de pluja, ja que els dipòsits, emplenats al màxim per la pluja, continuen descarregant el mateix cabal fix i, al mateix temps, rebent les entrades normals diàries.

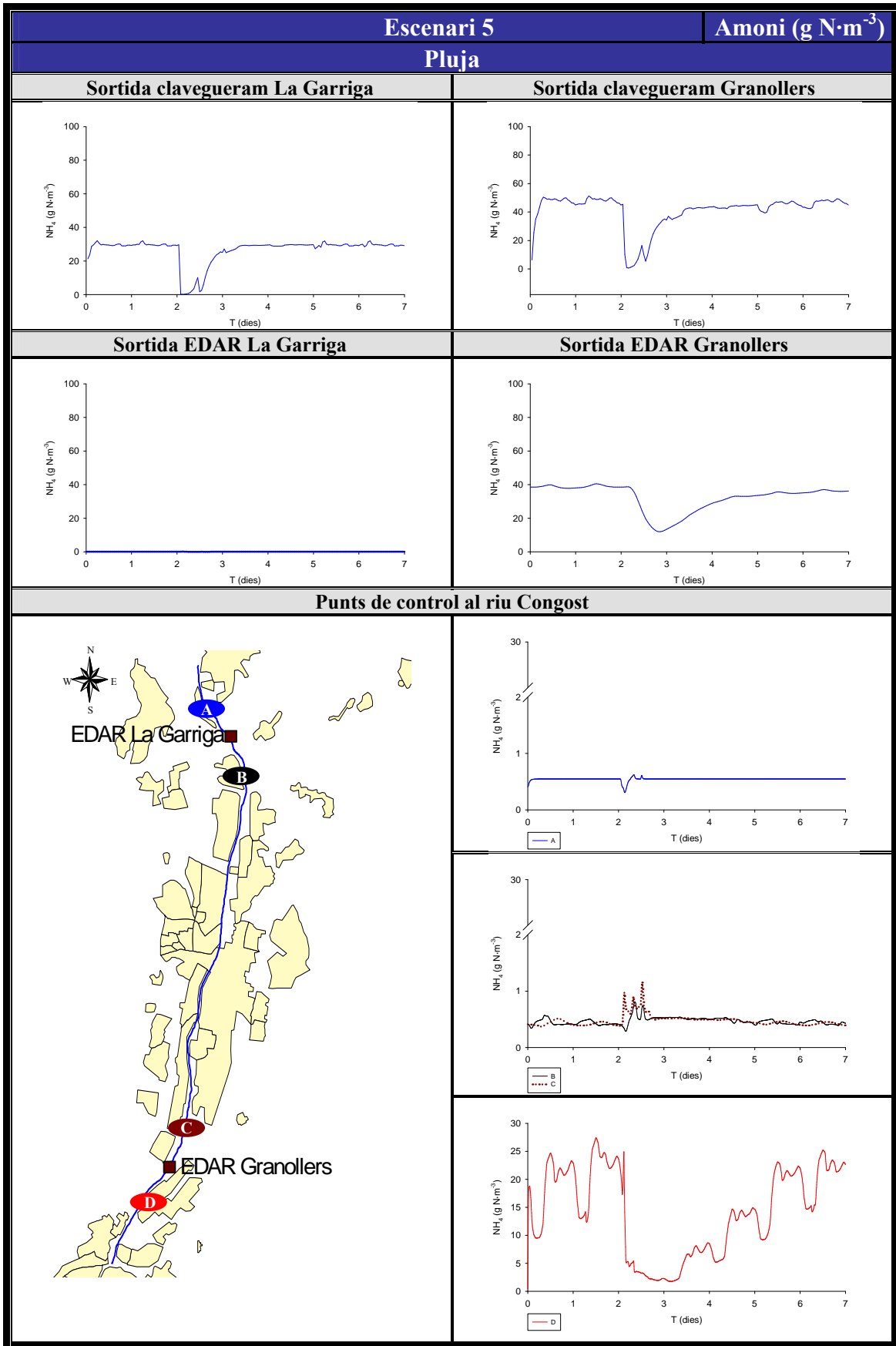
En el cas de la DBO, cal destacar el pics de concentració puntuals, detectats en els primers moments de pluja, sobretot als punt de control A i C del riu Congost, on actuen els sobreeixidors de La Garriga i Granollers, respectivament. En els primers moments d'un episodi de pluja l'aigua arrossega els sediments acumulats al llarg del temps en la superfície urbana, que per escorrentia acaben derivant al sistema de clavegueram. És el que es coneix com a procés de "rentat". En el model de clavegueram la simulació de la DBO té dues fonts d'origen: la matèria orgànica produïda en cases i indústries i l'associada a sediments. D'aquesta forma, en temps de pluja, es donen dos processos de forma simultània: la dilució de la DBO generada per cases i indústries i, per altra banda, un augment inicial de la DBO associada als sediments. En les sortides finals dels sistemes de clavegueram el procés dominant és el de dilució i, en cas que l'acumulació de sediments al sòl urbà fos més elevada, aquests serien atrapats als decantadors primaris, evitant així els pics de DBO associats a sediments, en els efluent de les EDAR. En canvi, a gran part de la xarxa de clavegueram, el procés de dilució no és el dominant i, quan els

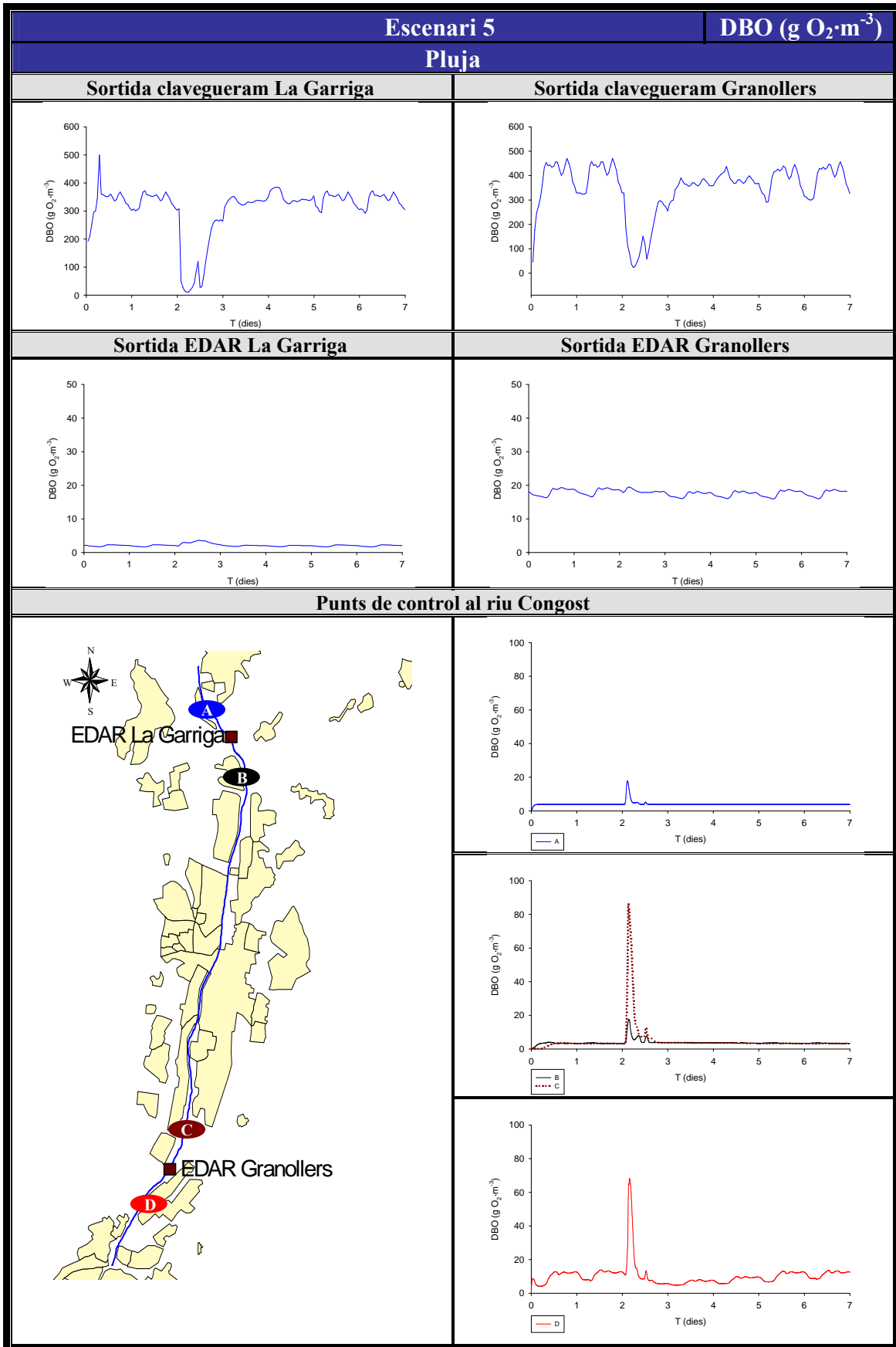
sobreeixidors actuen, gran part dels sediments acumulats s'evacuen cap al riu, produint aquest efecte d'increment puntual de la DBO associada a sediments, en els primers instants de l'episodi de pluja. Aquest efecte no es detecta en el cas de l'amoni perquè el model de clavegueram, al contrari que en la DBO, no contempla la possibilitat d'associar part de l'amoni als sediments. El model només té en compte, com a font d'origen d'amoni, el produït en cases i indústries i, per tant, quan es produeix un episodi de pluja que arrossega sediments de superfície cap al clavegueram i el riu, aquests sediments no incrementen la concentració d'amoni.

D'aquest escenari se'n deriva que cal implementar un sistema de control variable de la descàrrega dels dipòsits per minimitzar l'actuació dels sobreeixidors i l'acumulació de sediments als dipòsits.

<b>Escenari 5</b>					
<b>Pluja</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	33878		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	111730	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	5885	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	26986
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	309		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	351
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	27		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	41
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	256		MES (g·m <sup>-3</sup> )	341
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	6706		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	9744	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.48		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		5168	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		22337
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.13	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		17.73
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.10	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		32.38
MES (g·m <sup>-3</sup> )		5	MES (g·m <sup>-3</sup> )		19.80
<b>Dades generals: pluja</b>					
Pluja total acumulada: 23 mm					









---

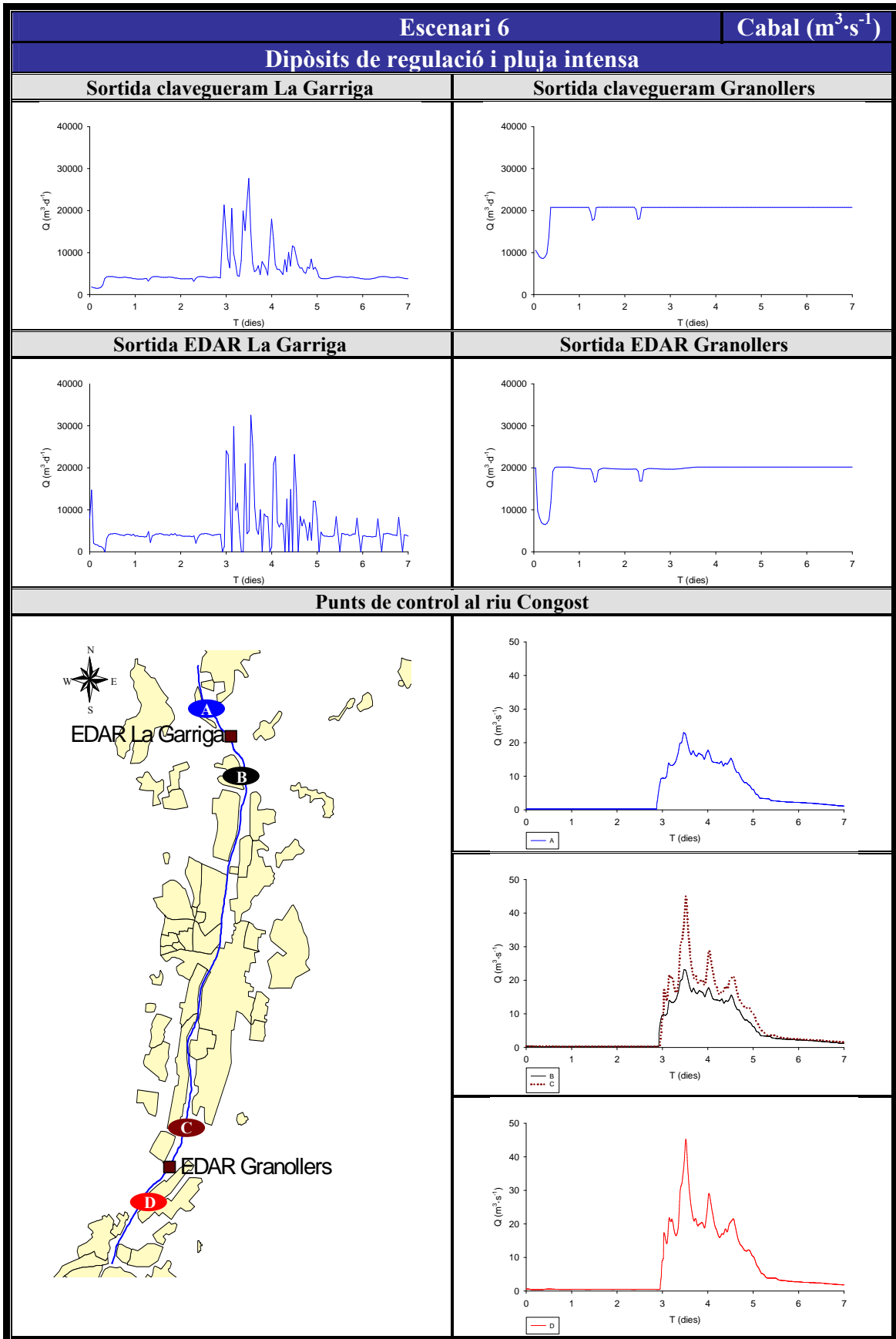
### **Escenari 5: Pluja**

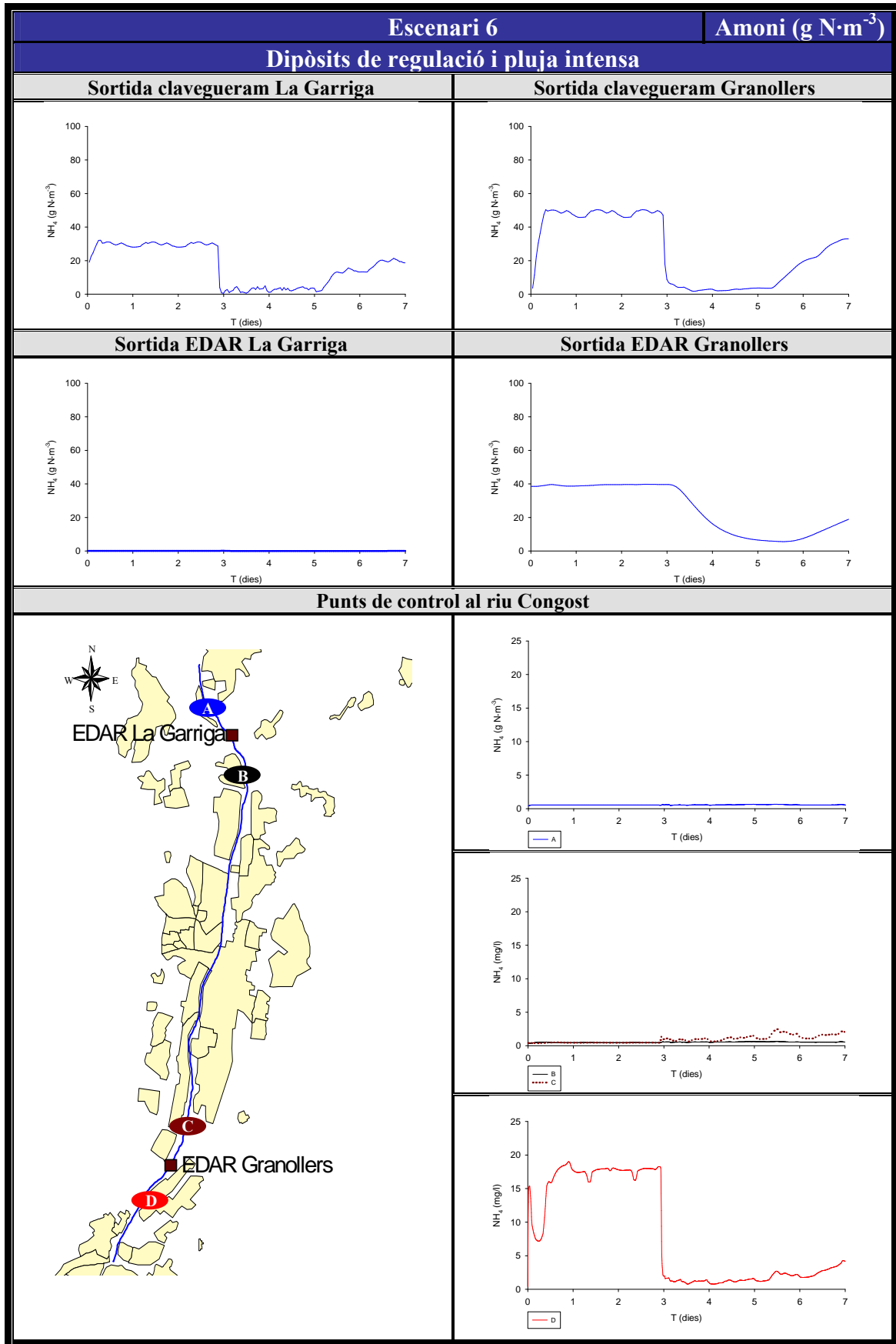
---

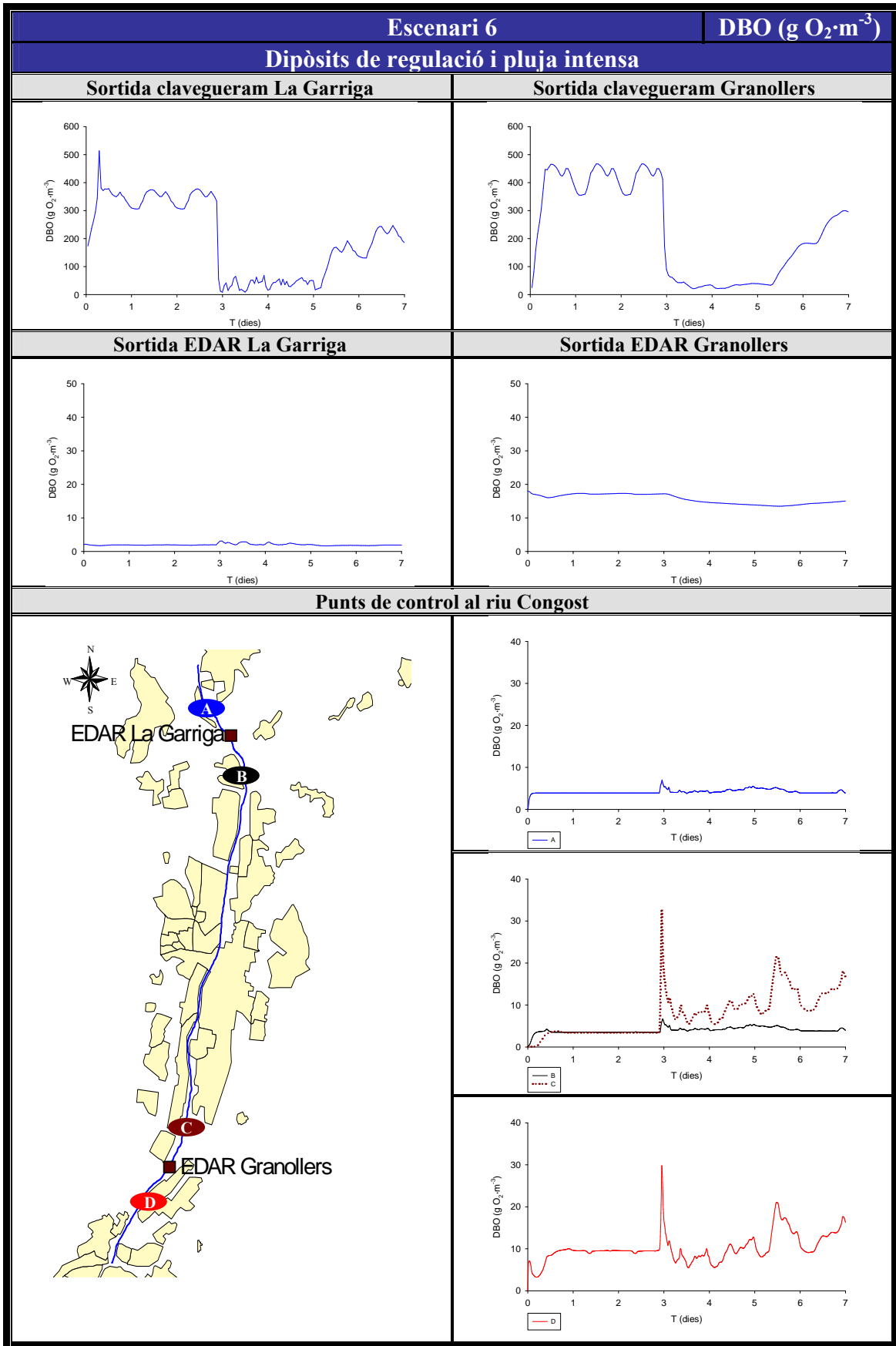
Es simulen les mateixes condicions de pluja que en l'escenari anterior però, en aquest cas, no s'han introduït els dipòsits de regulació. Si es comparen els volums totals abocats pels sobreeixidors en l'escenari 4 (on els dipòsits provocaven un efecte barrera), es pot apreciar com en aquesta situació el volum total abocat és inferior. En els gràfics de cabal del sistema de clavegueram ara sí es pot veure com envien gran part de l'aigua de pluja cap a les EDAR i només es veuen limitats per la capacitat màxima d'entrada a tractament primari d'aquestes ( $27648 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  i  $86400 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  a La Garriga i Granollers respectivament).

Respecte a les concentracions d'amoni i DBO s'observa el mateix efecte de dilució que en l'escenari 4 i una disminució clara dels abocaments dels sobreeixidors en el riu Congost. No obstant, tot i que lleugerament inferiors, es mantenen els pics inicials de DBO als punts de control A i C. Sol coincidir durant un episodi de pluja que just el primer cabal d'escorrentia encara no ha arribat al màxim però porta la major part dels sediments acumulats al sòl urbà i, a més, el cabal és suficientment elevat per fer actuar els sobreeixidors.

<b>Escenari 6</b>					
<b>Dipòsits de regulació i pluja intensa</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	337845		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	1107542	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	5549	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20167
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	199		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	226
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	17		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	26
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	151		MES (g·m <sup>-3</sup> )	177
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	2002		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	4.31	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	5495		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19347	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1.99		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	15.59	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.06		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	25.25	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	5.13		MES (g·m <sup>-3</sup> )	18.28	
<b>Dades generals: pluja</b>					
Pluja total acumulada: 150 mm					







---

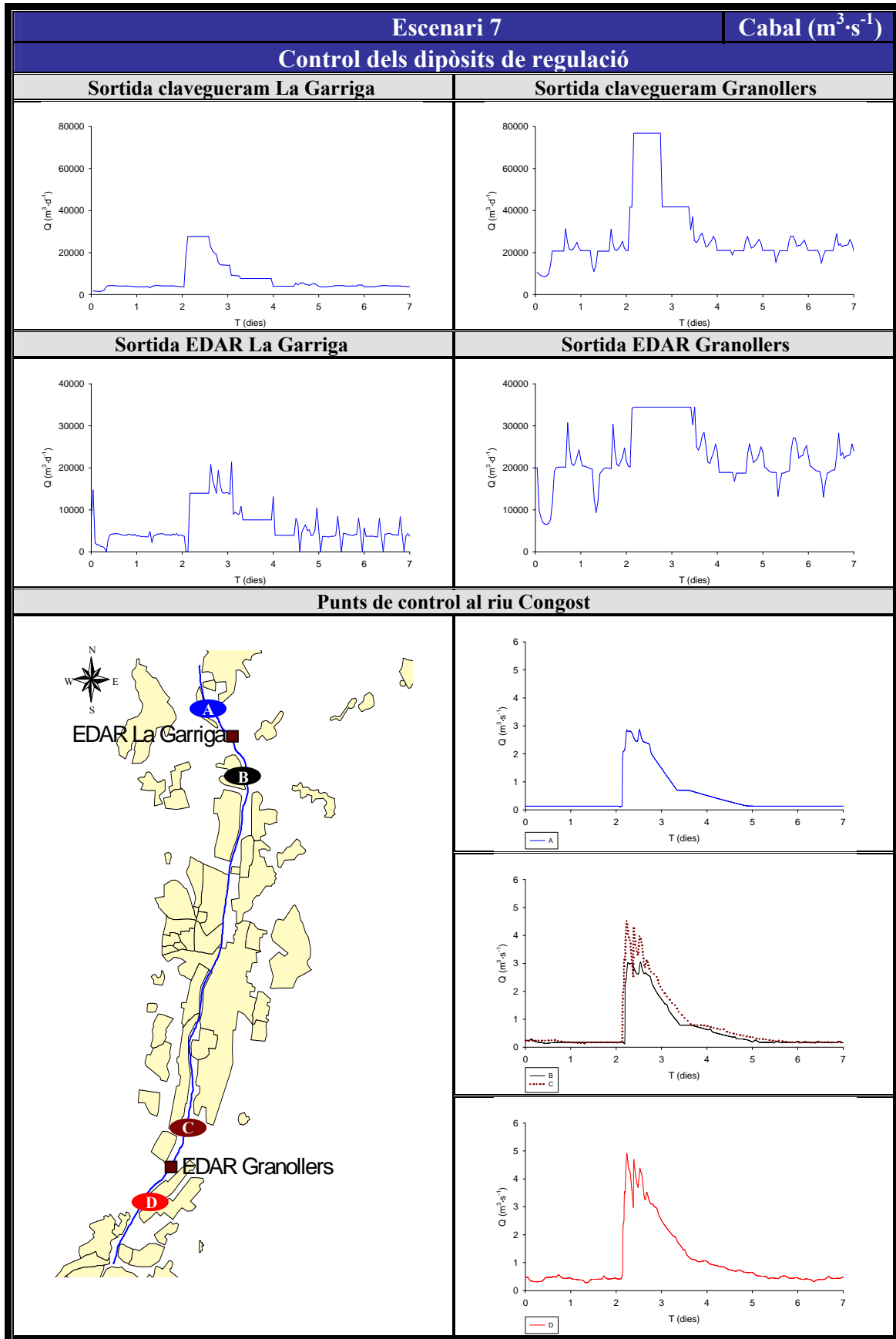
**Escenari 6: Dipòsits de regulació i pluja intensa**

---

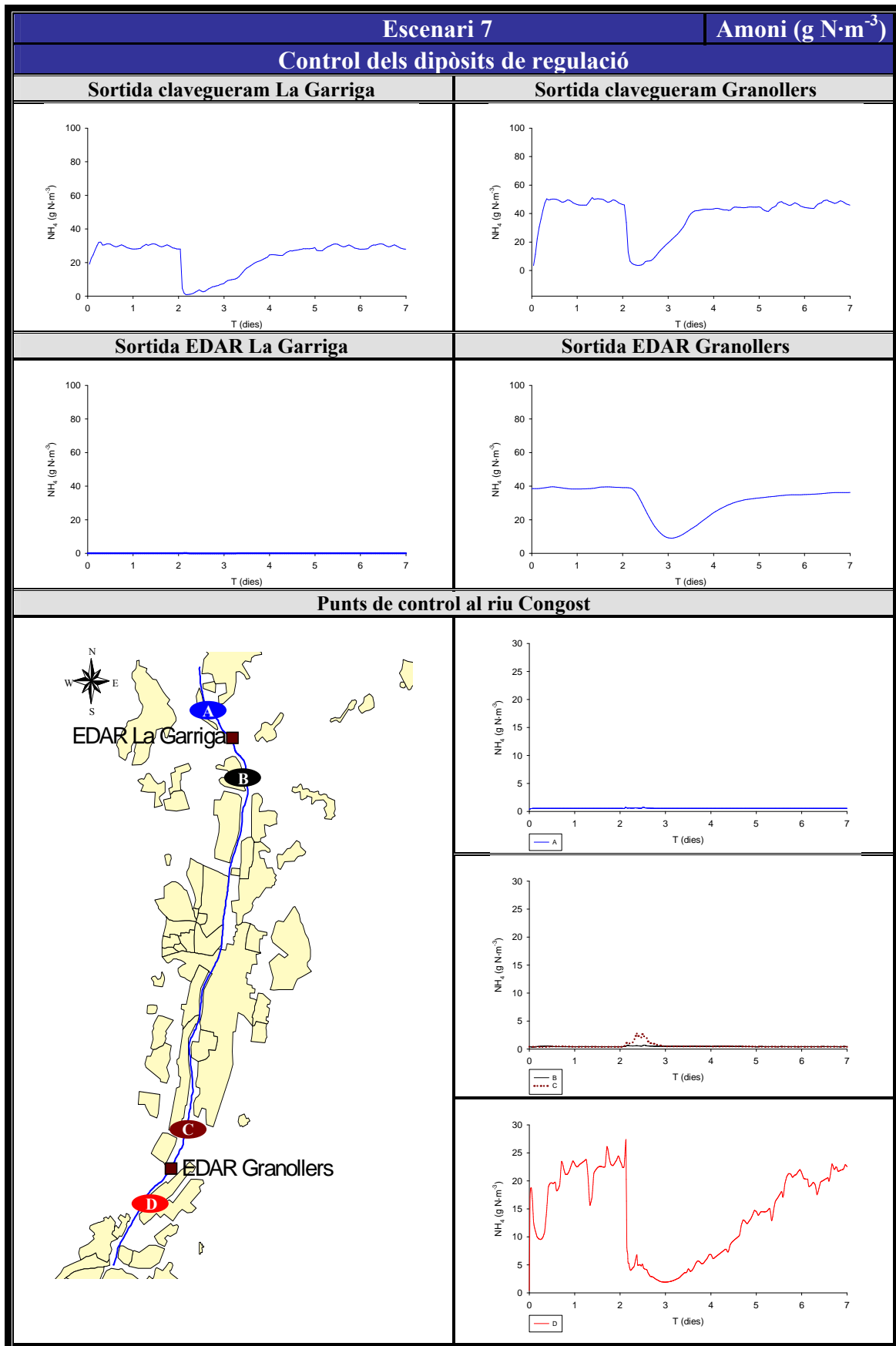
Es simula una situació de pluja més intensa i continuada que en els escenaris anteriors (150 mm durant 2 dies) amb el sistema de dipòsits de regulació de cabals. En els gràfics de cabal del sistema de clavegueram s'observa el mateix efecte que en l'escenari 4: a Granollers s'arriba al cabal màxim que permet el sobreexidor d'entrada a l'EDAR, mentre que a La Garriga no. En aquest cas l'augment del volum total abocats pels sobreexidors respecte als escenaris 4 i 5 és proporcional a l'increment de la pluviometria.

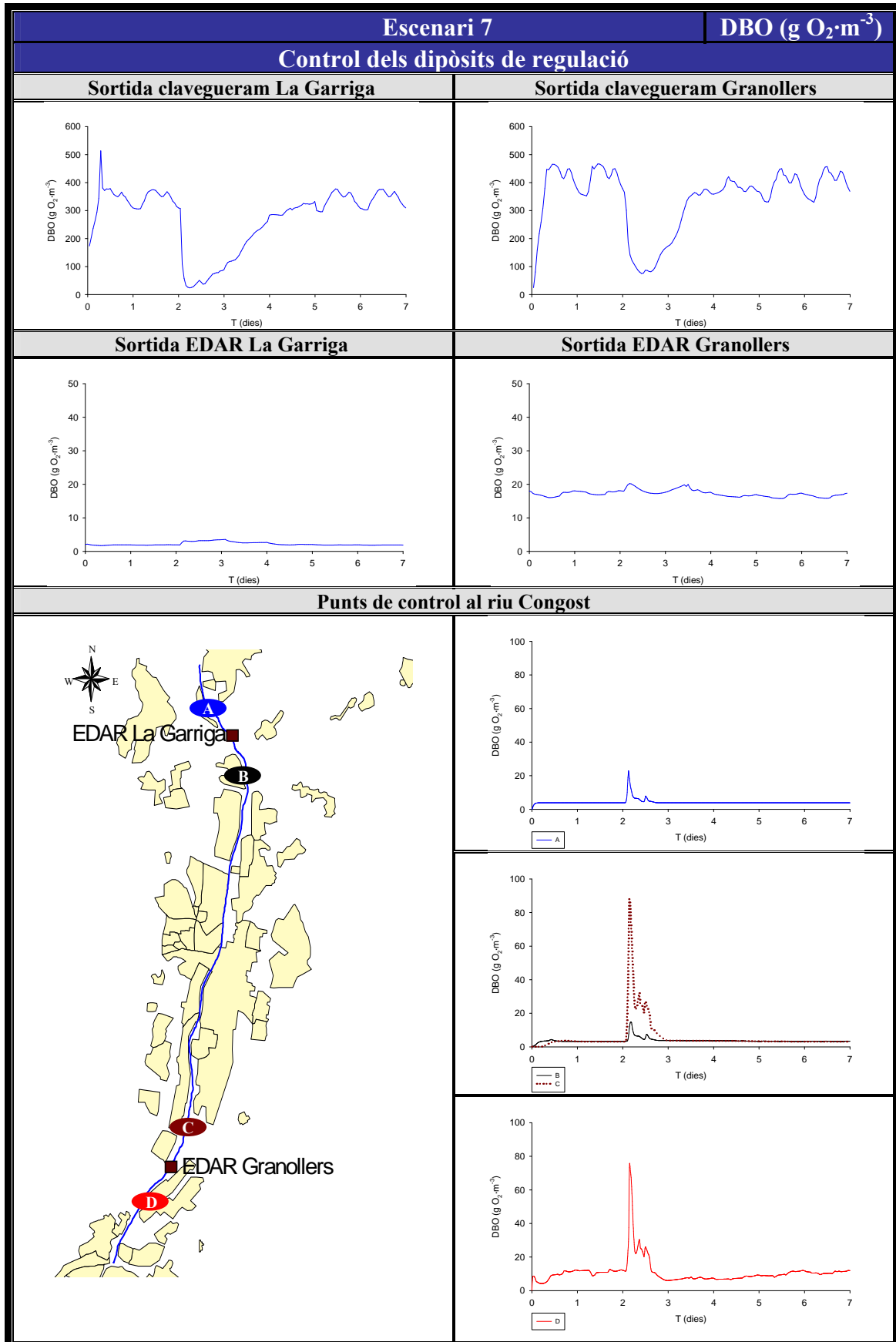
Respecte als resultats gràfics d'amoni i DBO, l'efecte de dilució en els tres subsistemes (clavegueram, EDAR i riu) es veu molt més accentuat que en les situacions anteriors. En aquest cas, el potencial de dilució de la pluja és capaç d'emascarar l'augment en la concentració d'amoni del tram C del riu Congost, efecte provocat pels sobreexidors de Granollers que s'aprecia en l'escenari 4. Pel que fa a la DBO, el pic associat a sediments, observat en els escenaris 4 i 5, també es redueix considerablement.

<b>Escenari 7</b>					
<b>Control dels dipòsits de regulació</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	3 dipòsits de 7000 m <sup>3</sup> de capacitat total, amb control del cabal de descàrrega		Dipòsits de regulació	4 dipòsits de 33000 m <sup>3</sup> de capacitat total, amb control del cabal de descàrrega	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	24931		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	98972	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	7116	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	28676
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	274		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	344
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	24		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	39
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	247		MES (g·m <sup>-3</sup> )	389
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	819		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	14000	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.48			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5			
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	6072		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	23087	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	2.22		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.25	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.09		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	31.23	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	5.76		MES (g·m <sup>-3</sup> )	20.07	
<b>Dades generals: pluja</b>					
Pluja total acumulada: 23 mm					









---

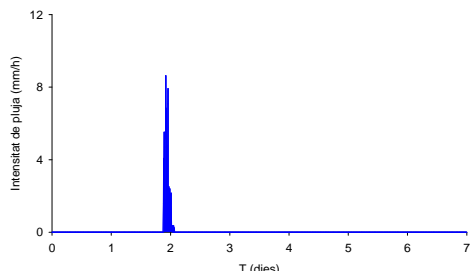
### **Escenari 7: Control dels dipòsits de regulació**

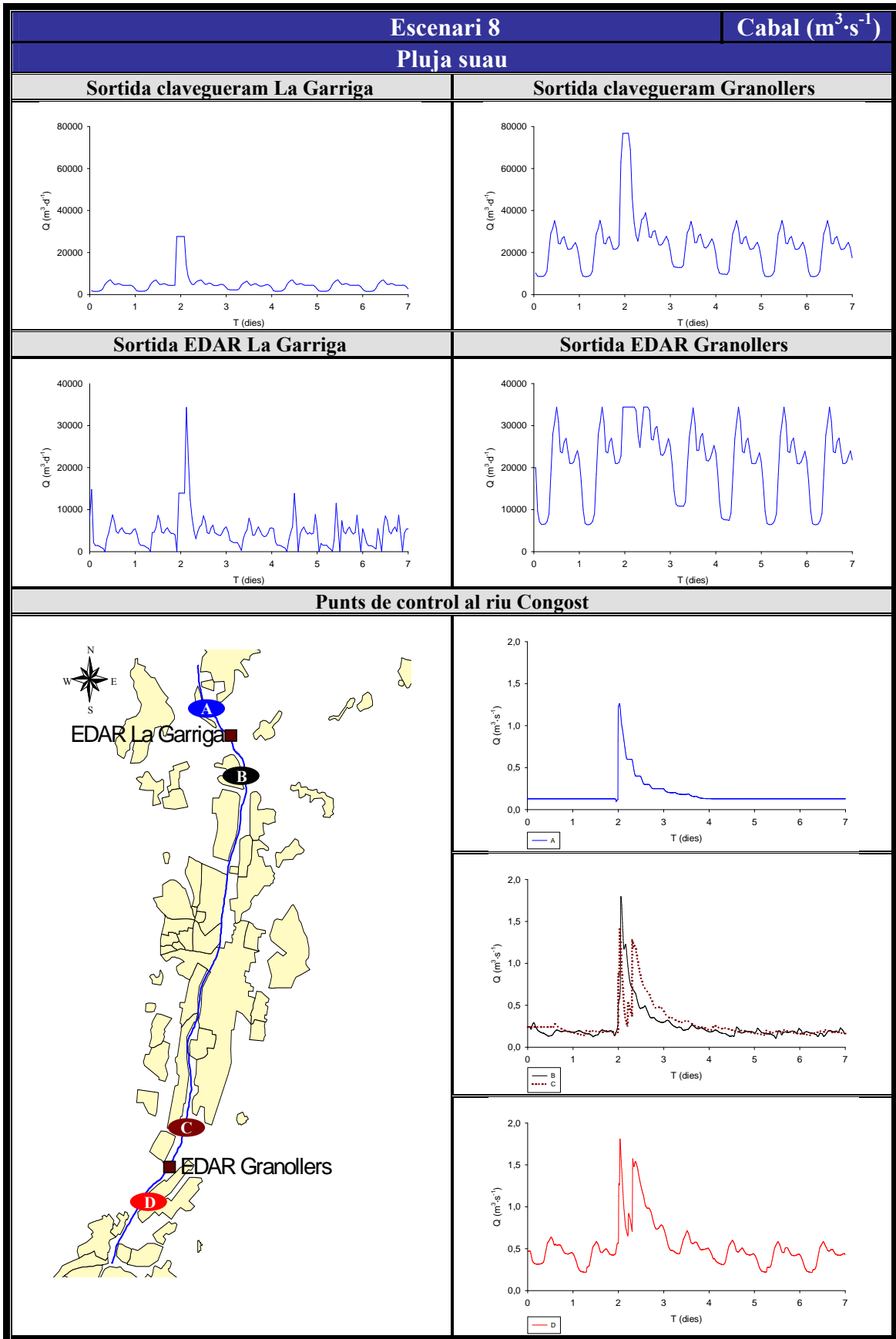
---

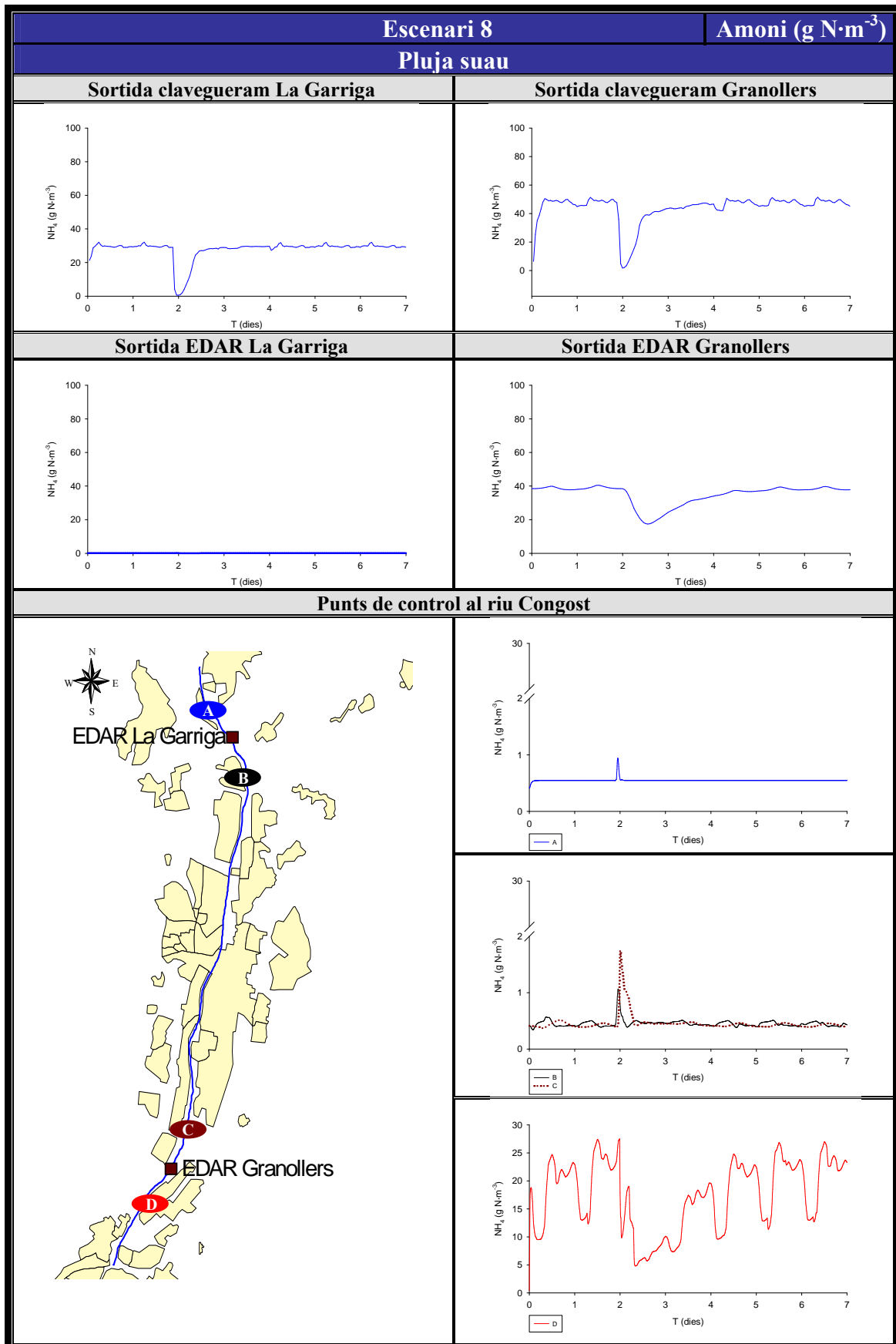
Es simulen les condicions de pluja de 23 mm durant 12 hores, per analitzar la resposta del control del cabal de descàrrega dels dipòsits de regulació. Si es comparen el volums totals abocats pels sobreexidors respecte als escenaris 4 i 5, s'observa una reducció significativa: del 30% respecte a l'escenari 4 (dipòsits amb cabal de descàrrega fix) i del 15% respecte a l'escenari 5 (sense dipòsits). La menor actuació dels sobreexidors fa que en aquest cas, a La Garriga també s'arribi al nivell màxim d'entrada a EDAR (al contrari que en els escenaris 4 i 5), maximitzant així la quantitat d'aigua depurada. La mitjana del cabal de sortida per La Garriga en aquest escenari és d'uns  $6000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , mentre que per als escenaris 4 i 5 la mitjana és d'uns  $4100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  i  $5150 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  respectivament.

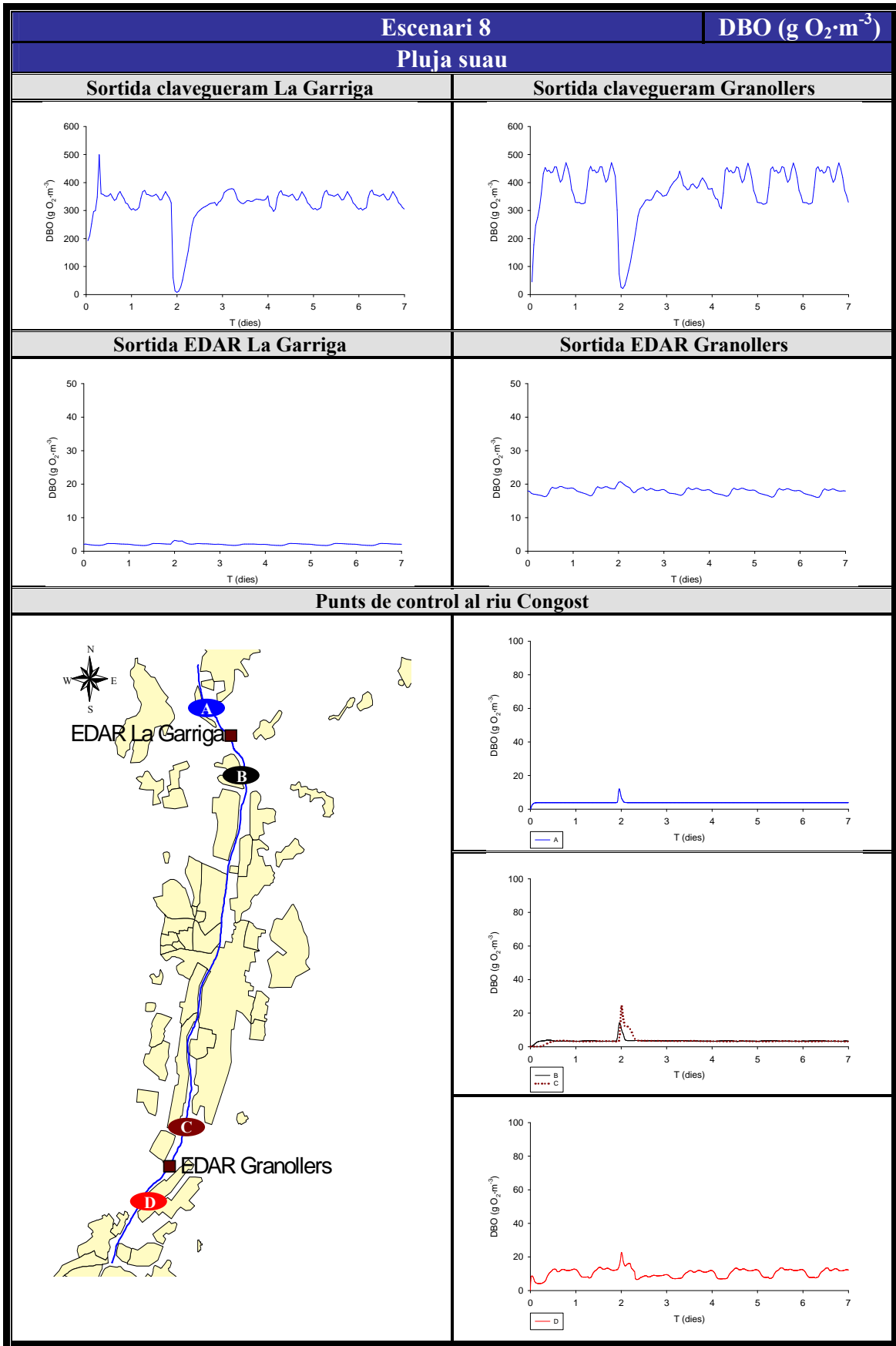
Pel que fa a les concentracions d'amoni i DBO s'observen els mateixos efectes de dilució que en els escenaris anteriors. Com a conseqüència de la reducció de l'acció dels sobreexidors s'eviten també els augments mitjans en les concentracions d'amoni i DBO observats en l'escenari 4, en el tram C del riu Congost. No obstant, es manté en condicions semblants el pic de DBO associat als sediments, observat a l'escenari 4 i 5.

Així, el control variable de descàrrega ha permès reduir, respecte a l'escenari 4, la concentració mitjana d'amoni i DBO al riu. Al punt de control C, la concentració mitjana d'amoni passa dels  $2,3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  de l'escenari 4 als  $0,55 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  d'aquest escenari, mentre que per la DBO la reducció passa dels  $20,6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  als  $5,7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Respecte a l'escenari 5, les diferències en la qualitat de l'aigua no són significatives.

<b>Escenari 8</b>					
<b>Pluja suau</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	13354		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	32103	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4912	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	23896
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	321		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	374
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	28		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	44
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	258		MES (g·m <sup>-3</sup> )	309
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	2800		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	4473	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.17		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		4723	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		21368
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.07	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		17.98
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.10	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		34.97
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.64	MES (g·m <sup>-3</sup> )		19.57
<b>Dades generals: pluja</b>					
Pluja total acumulada: 10 mm			 <p style="text-align: center;">Intensitat de pluja (mm/h)</p> <p style="text-align: center;">T (dies)</p>		







---

**Escenari 8: Pluja suau**

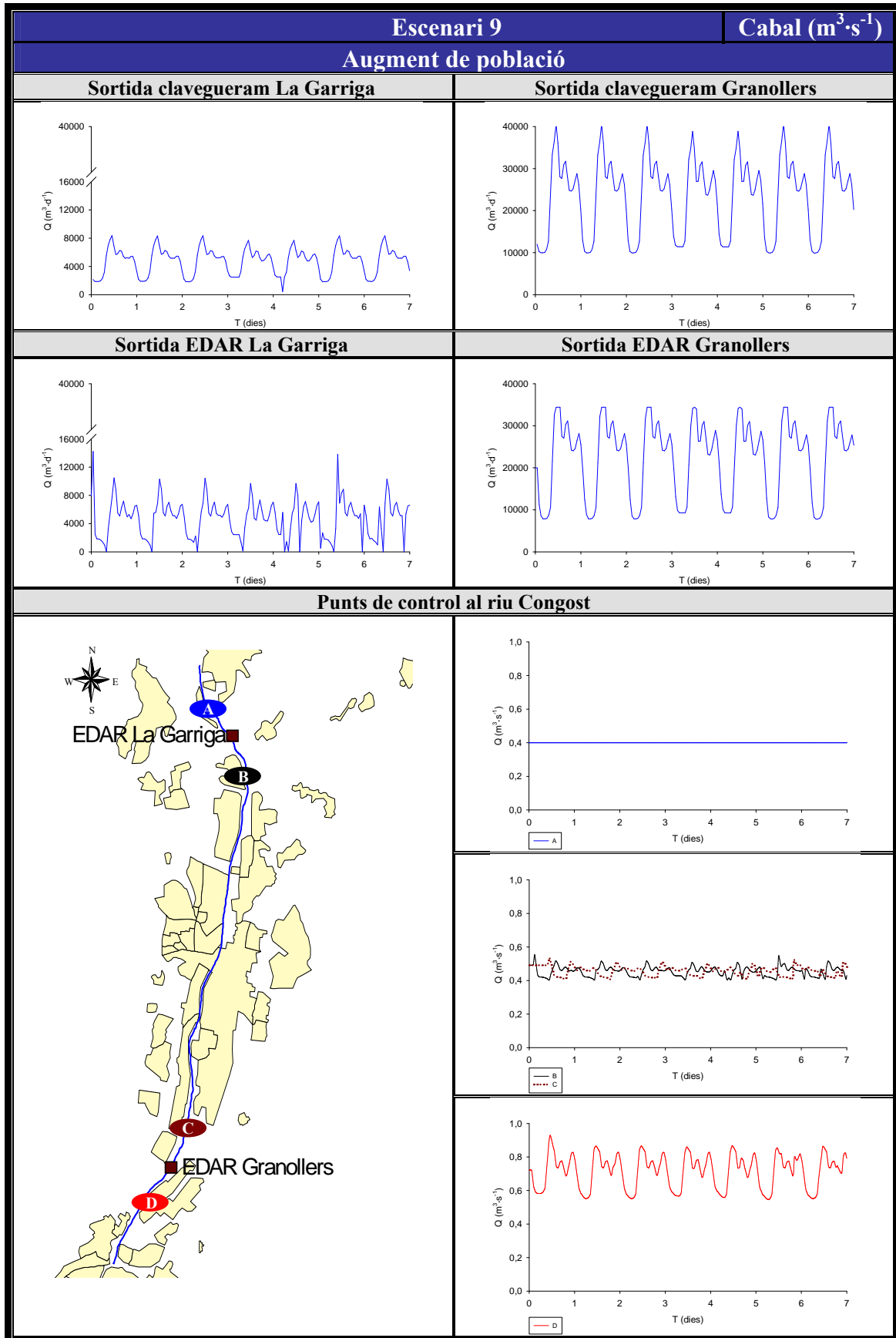
---

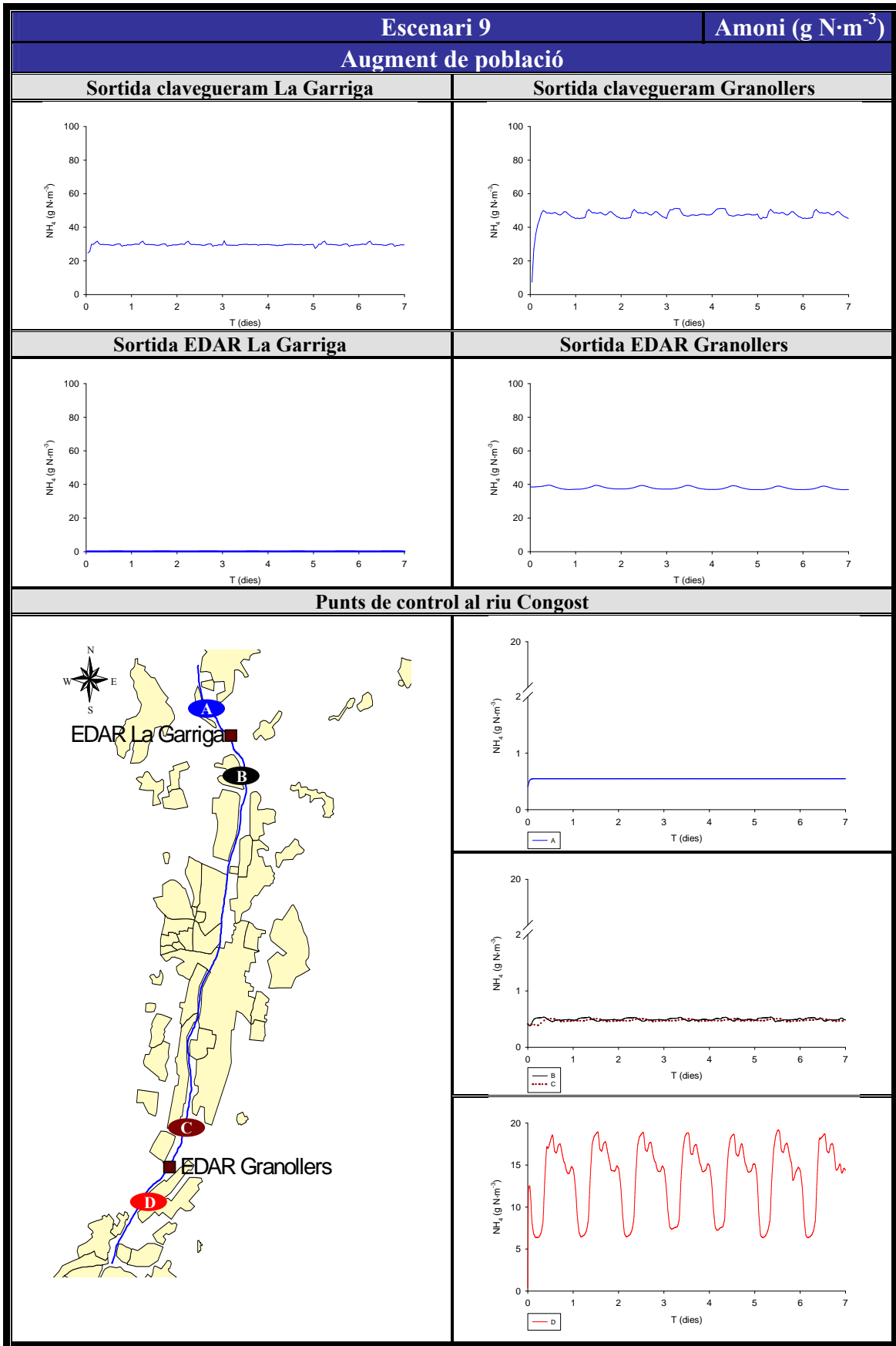
Si es compara aquesta situació amb la de l'escenari 5 (amb una pluja més intensa), s'observa una reducció, en els cabals aportats pels sobreexidors, proporcional a la disminució de la pluja.

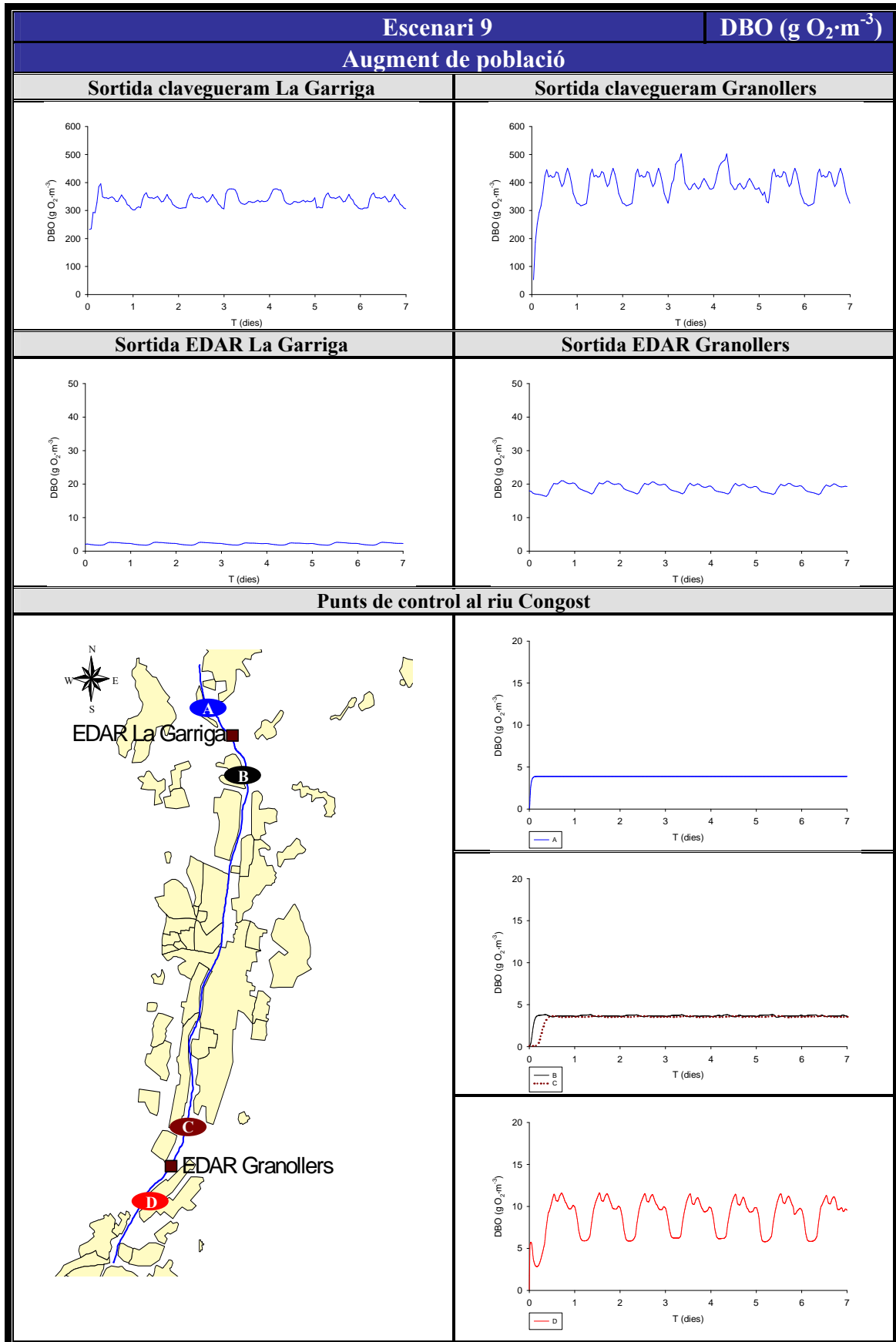
L'efecte de dilució és, en aquest cas, més potent que l'abocament de DBO associat a sediments dels sobreexidors, reduint considerablement la concentració del pic de DBO abans de l'EDAR Granollers, al punt de control C. Això és degut a que gran part dels sediments mobilitzats per la pluja sí que arriben a l'EDAR, on són eliminats pel tractament primari. En canvi, en el cas de l'amoni, s'observa una situació inversa. Com que el model de Clavegueram no simula cap aportament d'amoni associat a sediments, en aquesta situació de pluja menys intensa, continuen havent-hi abocaments dels sobreexidors però molt menys diluïts i, per tant, fan augmentar, sensiblement, la concentració d'amoni al riu Congost.



<b>Escenari 9</b>					
<b>Augment de població</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			121000 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4765	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	23737
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	336		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	393
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	47
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	278		MES (g·m <sup>-3</sup> )	346
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	1932	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.4	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4767		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	22349	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	2.20		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	18.87	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.13		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	37.88	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.82		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.87	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







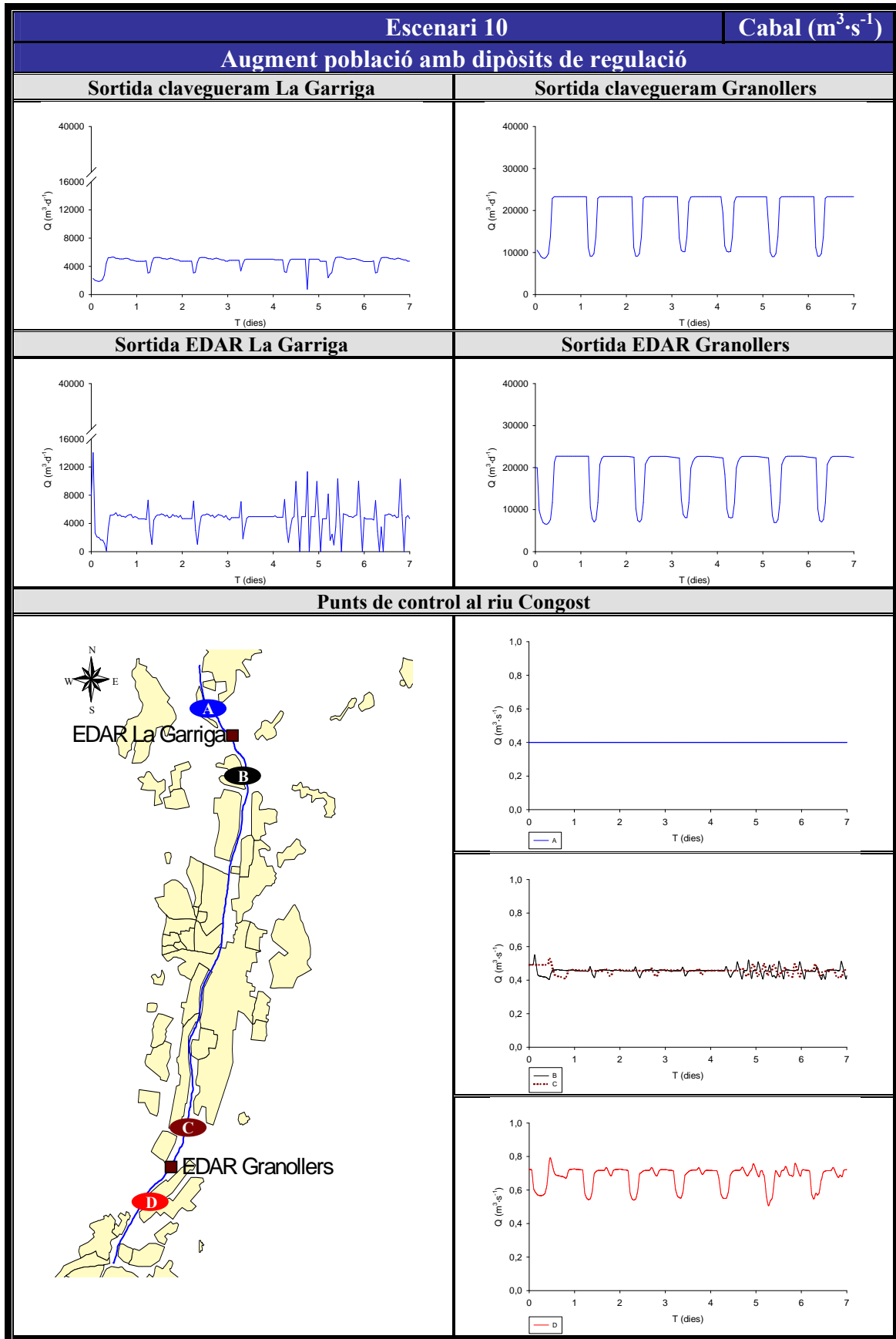
---

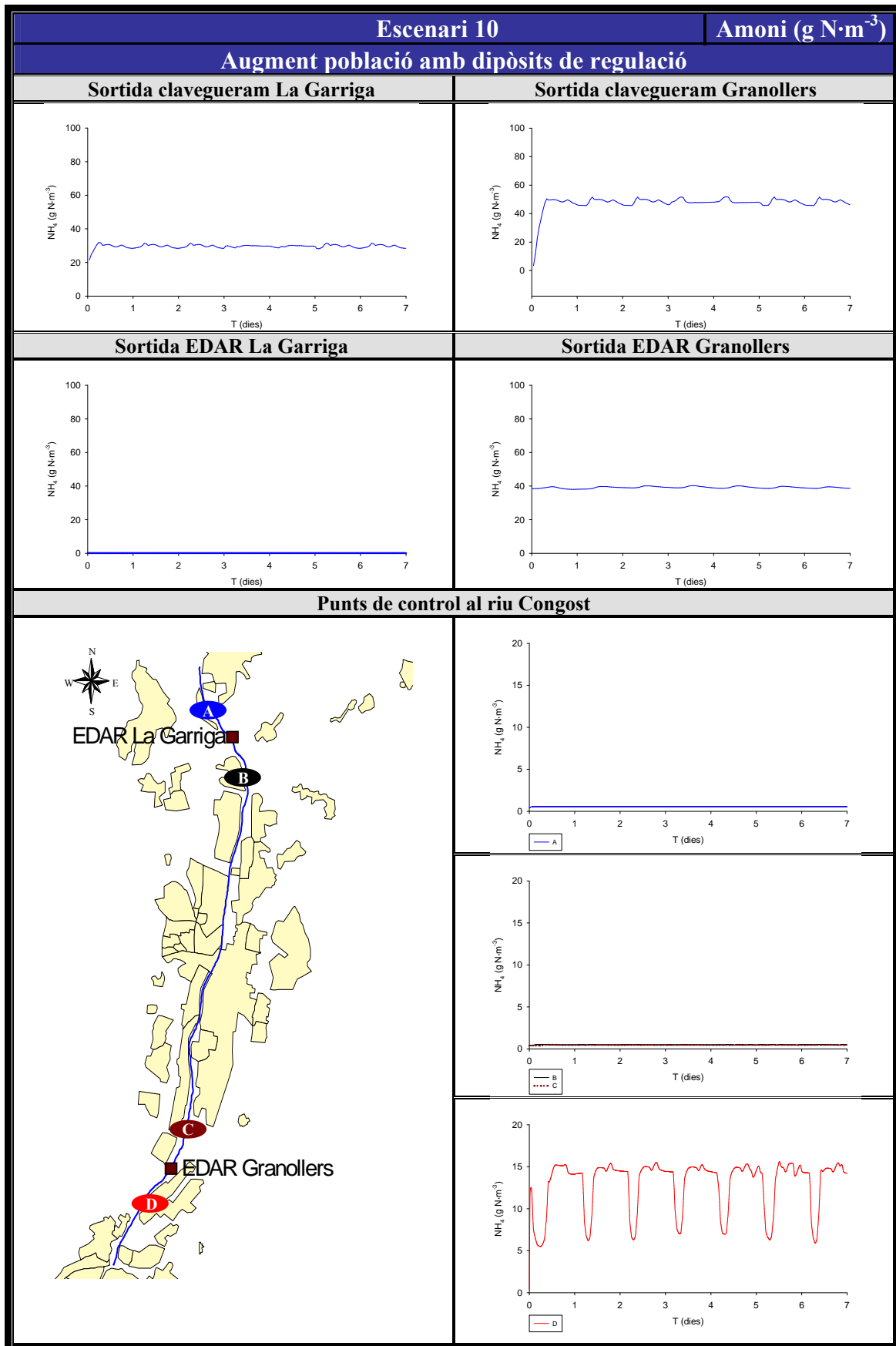
**Escenari 9: Augment de població**

---

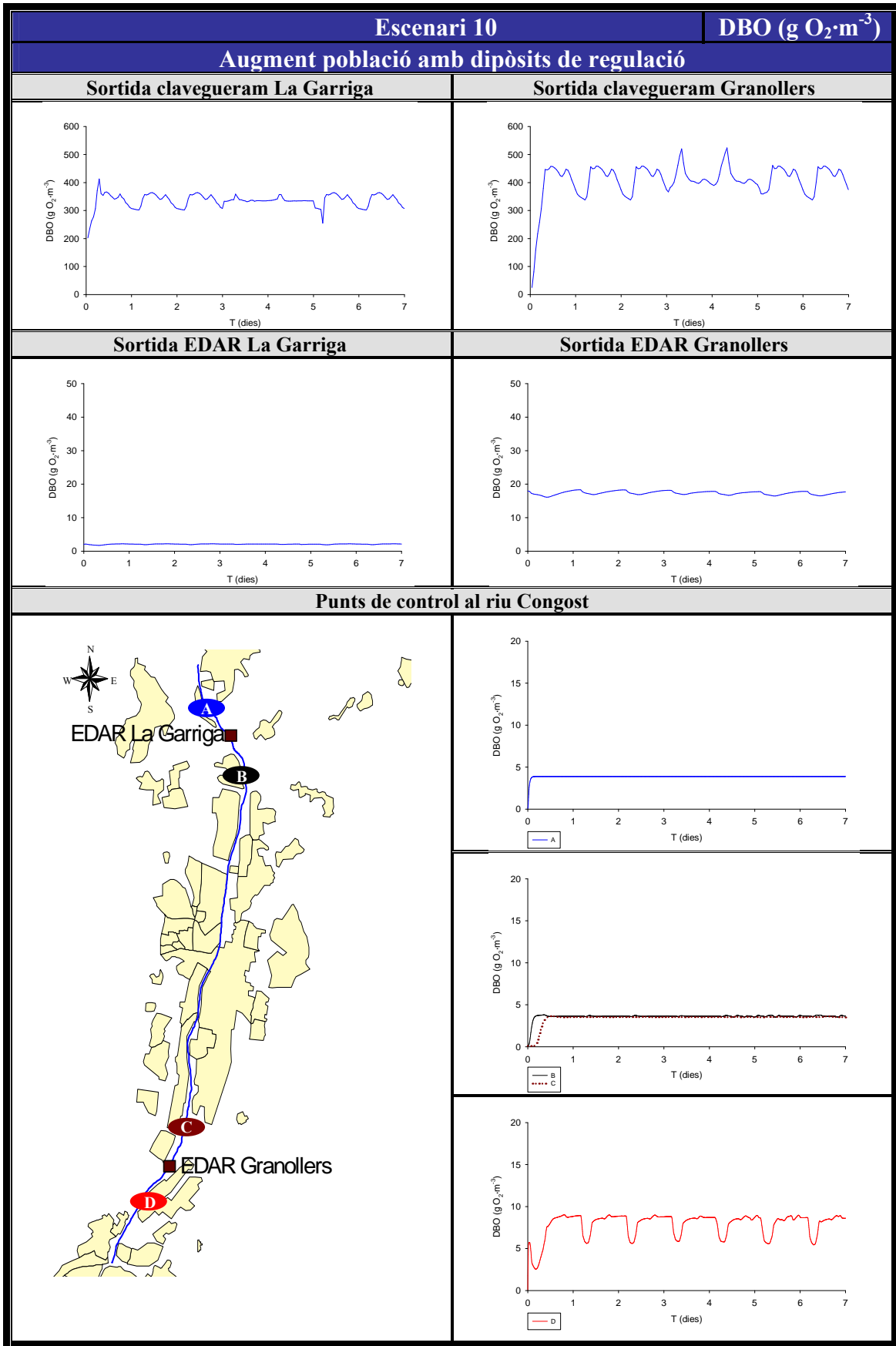
Segons la simulació i pel que fa a l'amoní, l'augment del 25%, respecte a la població de 2003 (població base dels escenaris), produeix uns increments de càrrega que són assumits per les EDAR sense més conseqüències, sense produir massa canvis significatius en la qualitat de l'aigua del riu Congost, respecte a l'escenari 1. Pel que fa a la DBO, el model de l'EDAR Granollers dona un rendiment d'eliminació sensiblement inferior, fent augmentar la concentració mitjana, al punt de control D del riu Congost, al voltant d'un 10% respecte a la de l'escenari 1.

<b>Escenari 10</b>					
<b>Augment de població amb dipòsits de regulació</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			121000 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4678	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20333
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	335		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	408
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	276		MES (g·m <sup>-3</sup> )	312
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		4684	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		19288
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.09	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		17.36
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.11	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		39.17
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.67	MES (g·m <sup>-3</sup> )		18.91
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









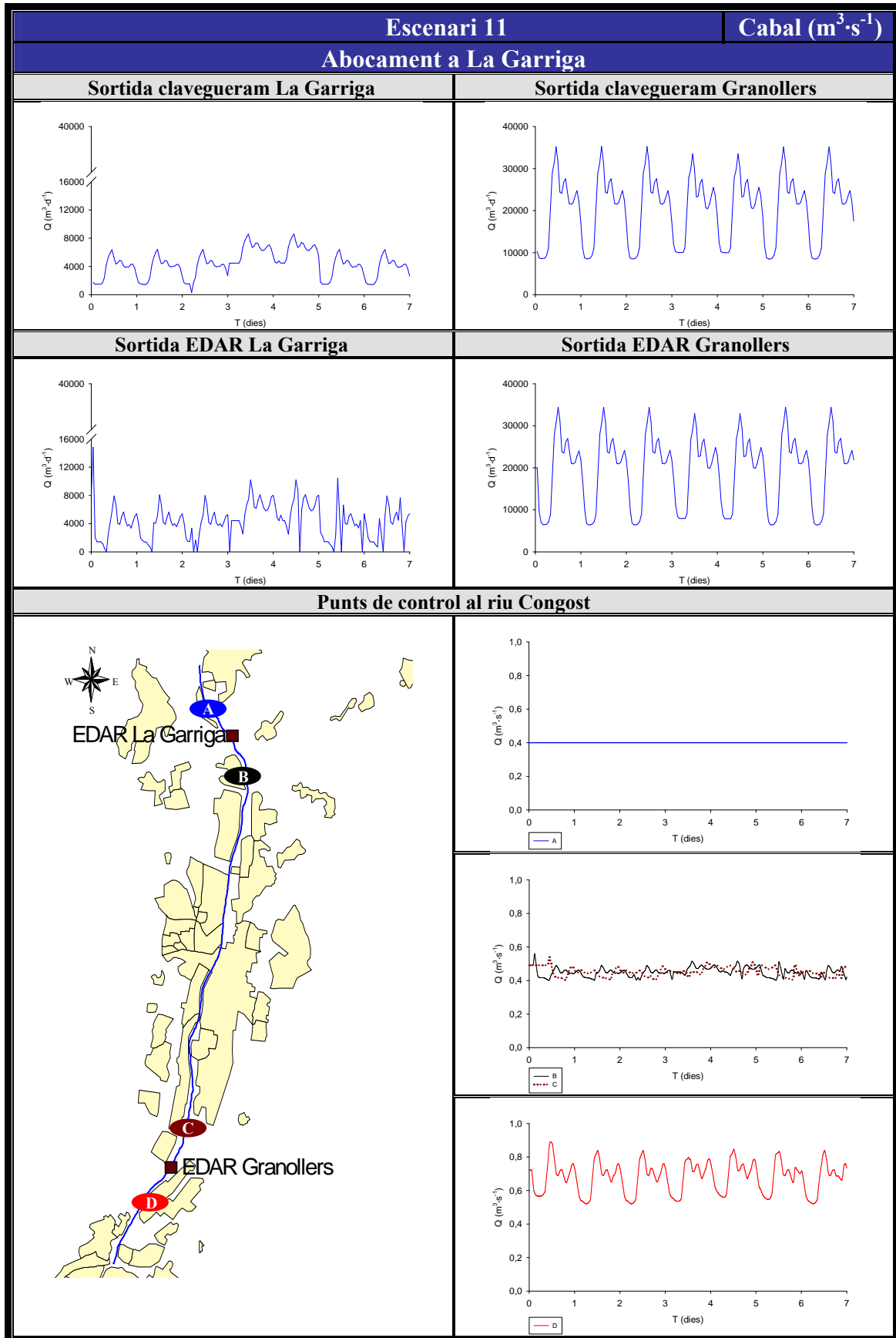
---

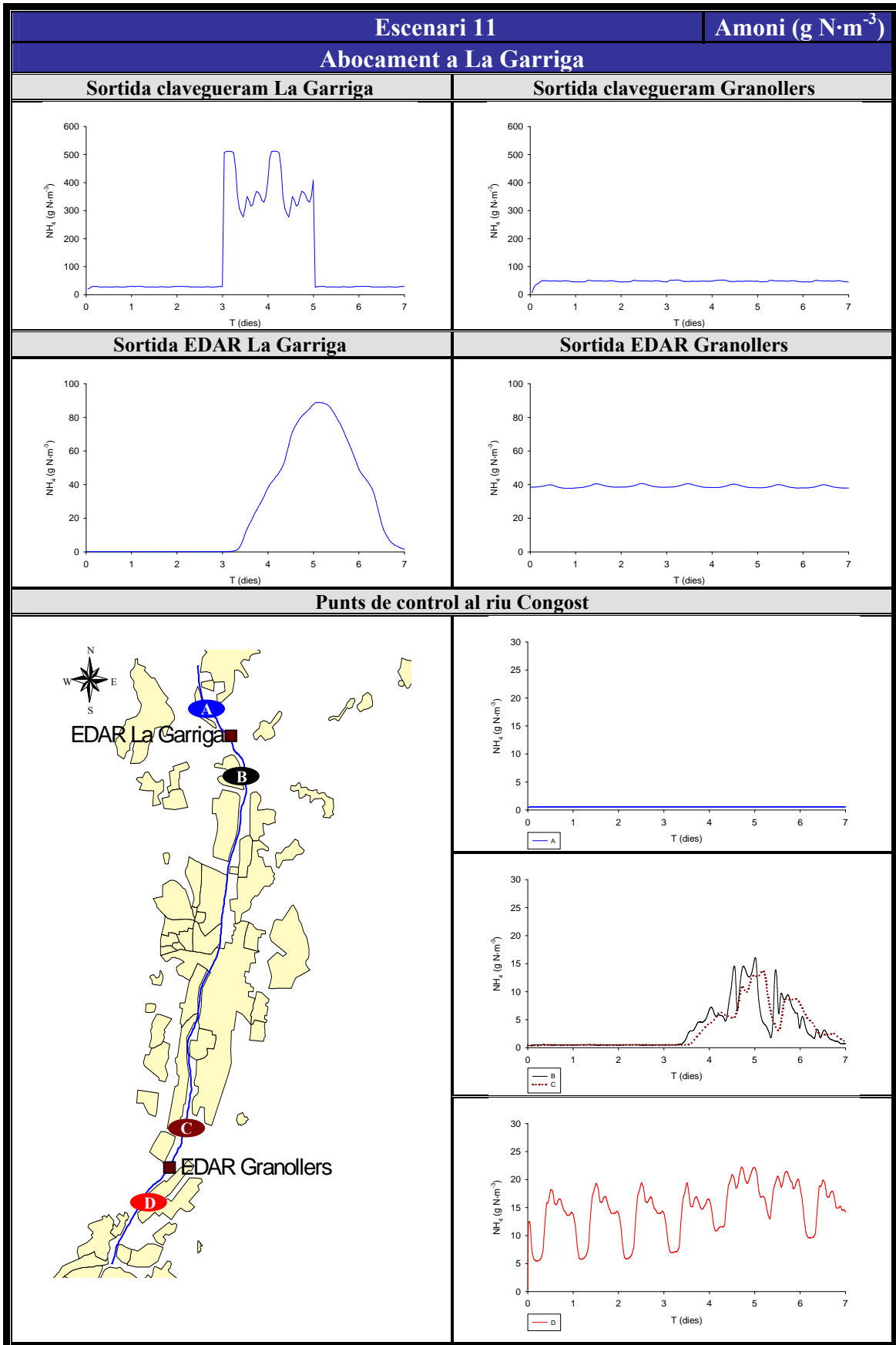
**Escenari 10: Augment de població amb dipòsits de regulació**

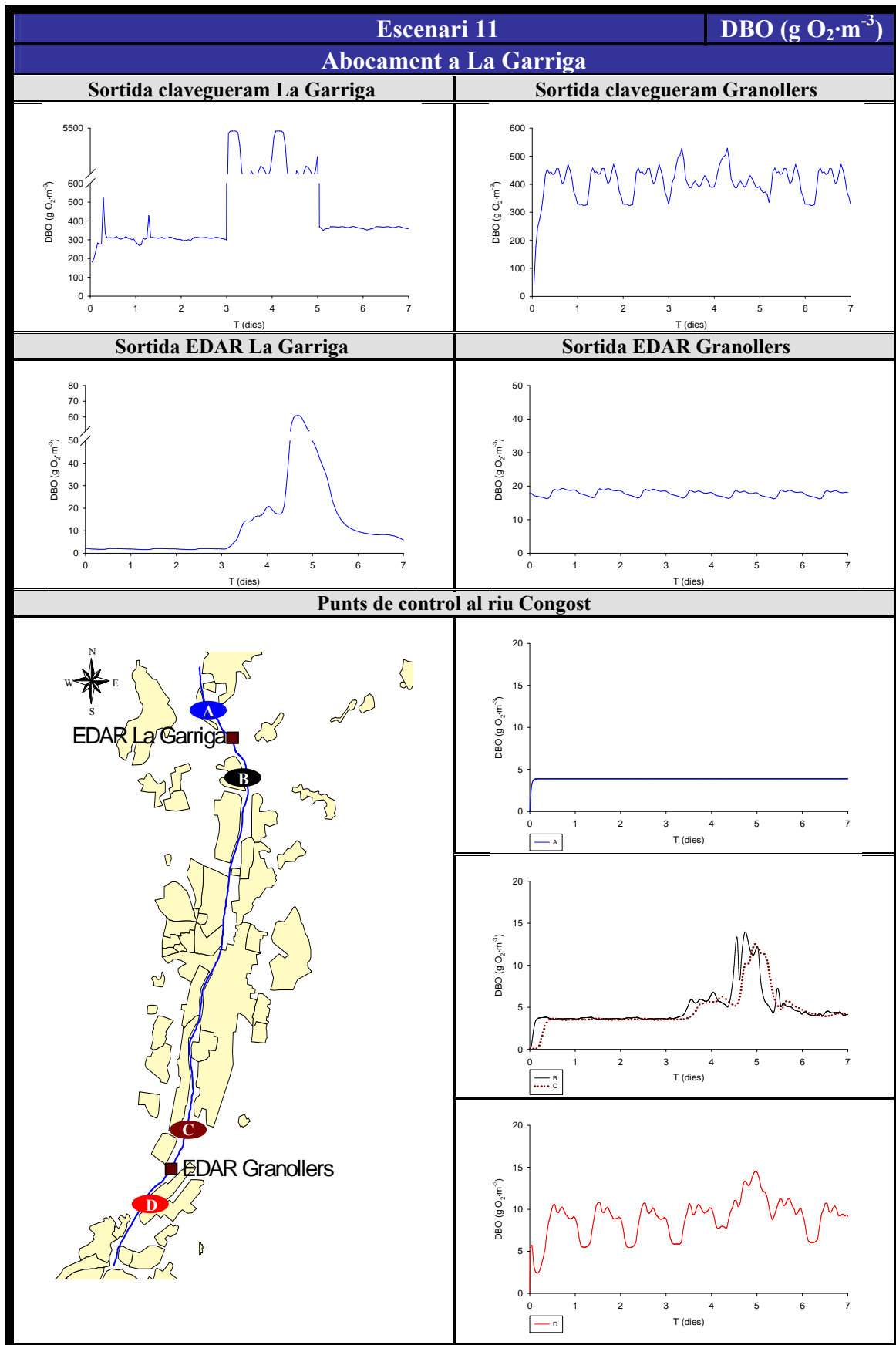
---

En aquesta situació d'augment de població amb dipòsits de regulació, es poden observar els efectes esperats de laminació de cabal i de càrrega. Segons les simulacions realitzades als escenaris 1 i 3, els dipòsits de regulació no tenien cap influència sobre el rendiment de les EDAR, quan es contemplen les poblacions base. En canvi, en aquesta situació d'augment de càrrega, l'acció dels dipòsits millora, sensiblement, els rendiments d'eliminació d'amoni i matèria orgànica de les EDAR, respecte a l'escenari 9. Així, les concentracions mitjanes d'amoni i DBO, al punt de control D del riu Congost, es redueixen en un 11% i un 5% respectivament.

<b>Escenari 11</b>					
<b>Abocament a La Garriga</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
<b>Model La Garriga</b>			<b>Model Granollers</b>		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2	Abocaments industrials especials	-	-
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03		-	-
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000		-	-
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850		-	-
MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000	-	-	-	
Dipòsits de regulació	-	-	Dipòsits de regulació	-	-
Avaries	-	-	Avaries	-	-
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-	Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
<b>Model La Garriga</b>			<b>Model Granollers</b>		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4410	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1379		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	130		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	1264		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-	Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-
Altres	-	-	Altres	-	-
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.4	Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.4
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5		MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4368	4368	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19543	19543
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	12.64	12.64	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.84	17.84
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	25.04	25.04	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	38.92	38.92
MES (g·m <sup>-3</sup> )	5.38	5.38	MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.06	19.06
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







---

**Escenari 11: Abocament a La Garriga**

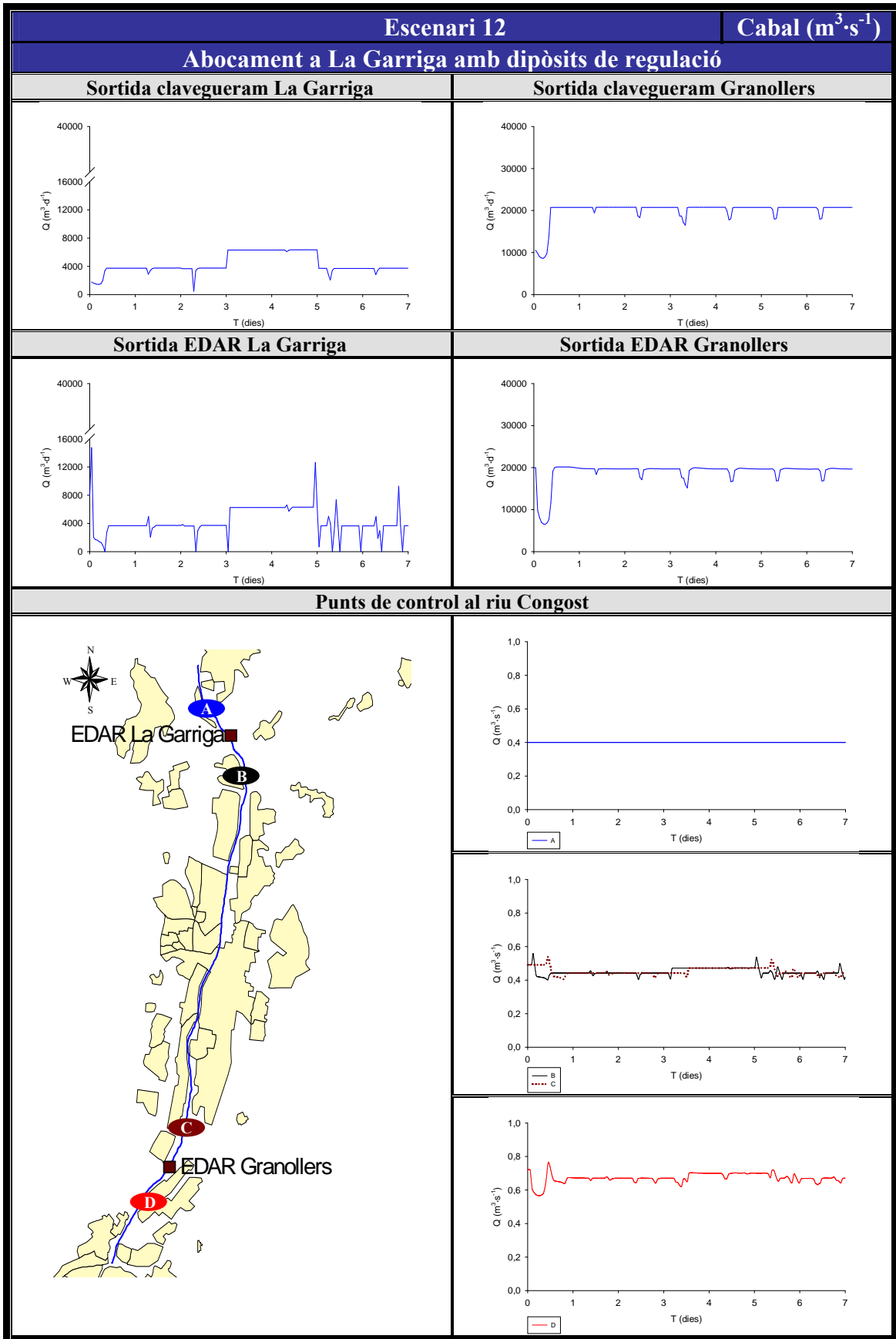
---

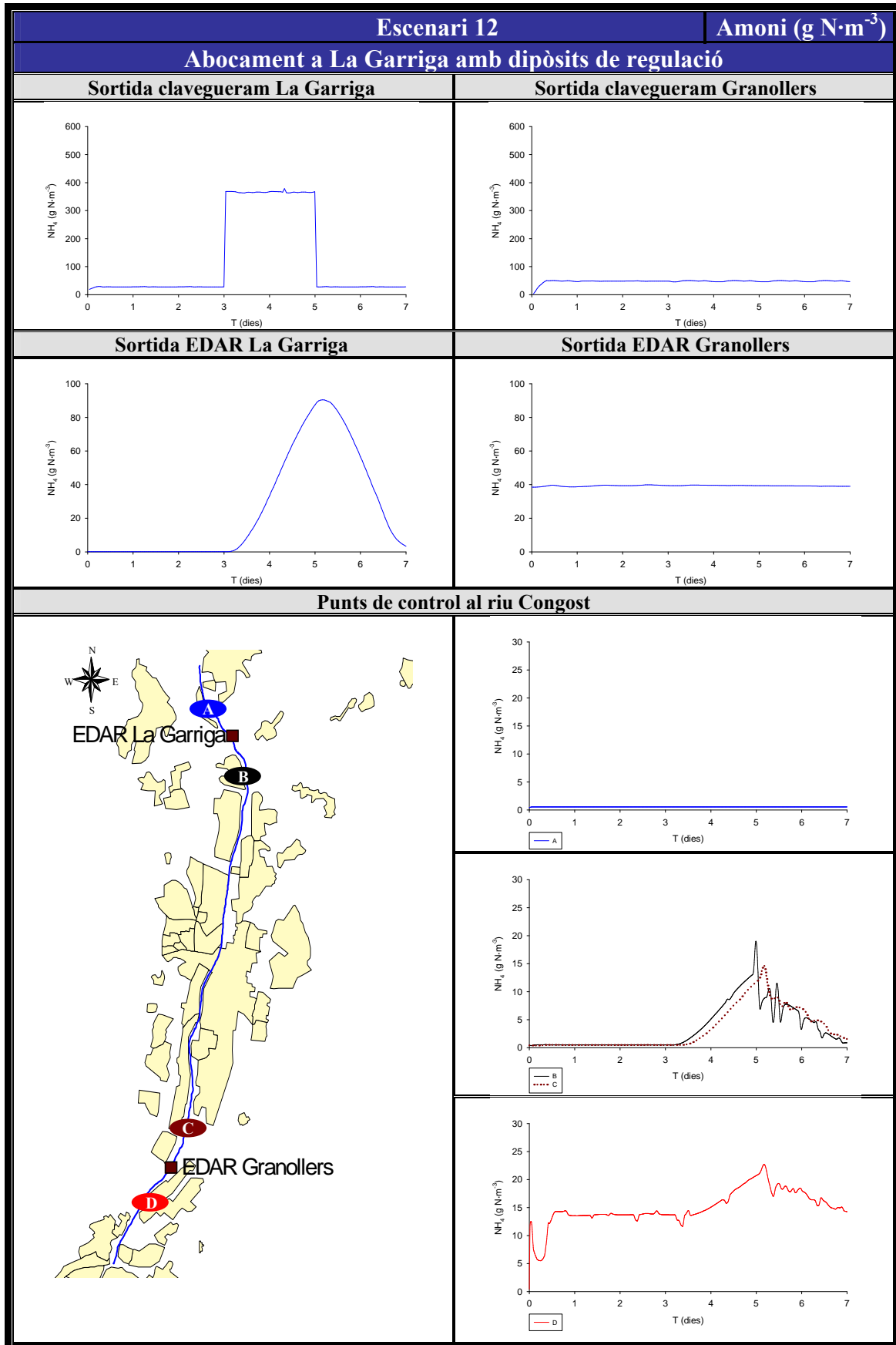
La caracterització de l'episodi de contaminació s'ha estimat de forma que produís un gran impacte a l'EDAR de La Garriga. Durant els dies que dura l'abocament, el cabal abocat per la indústria suposa al voltant del 40% del cabal d'entrada a l'EDAR.

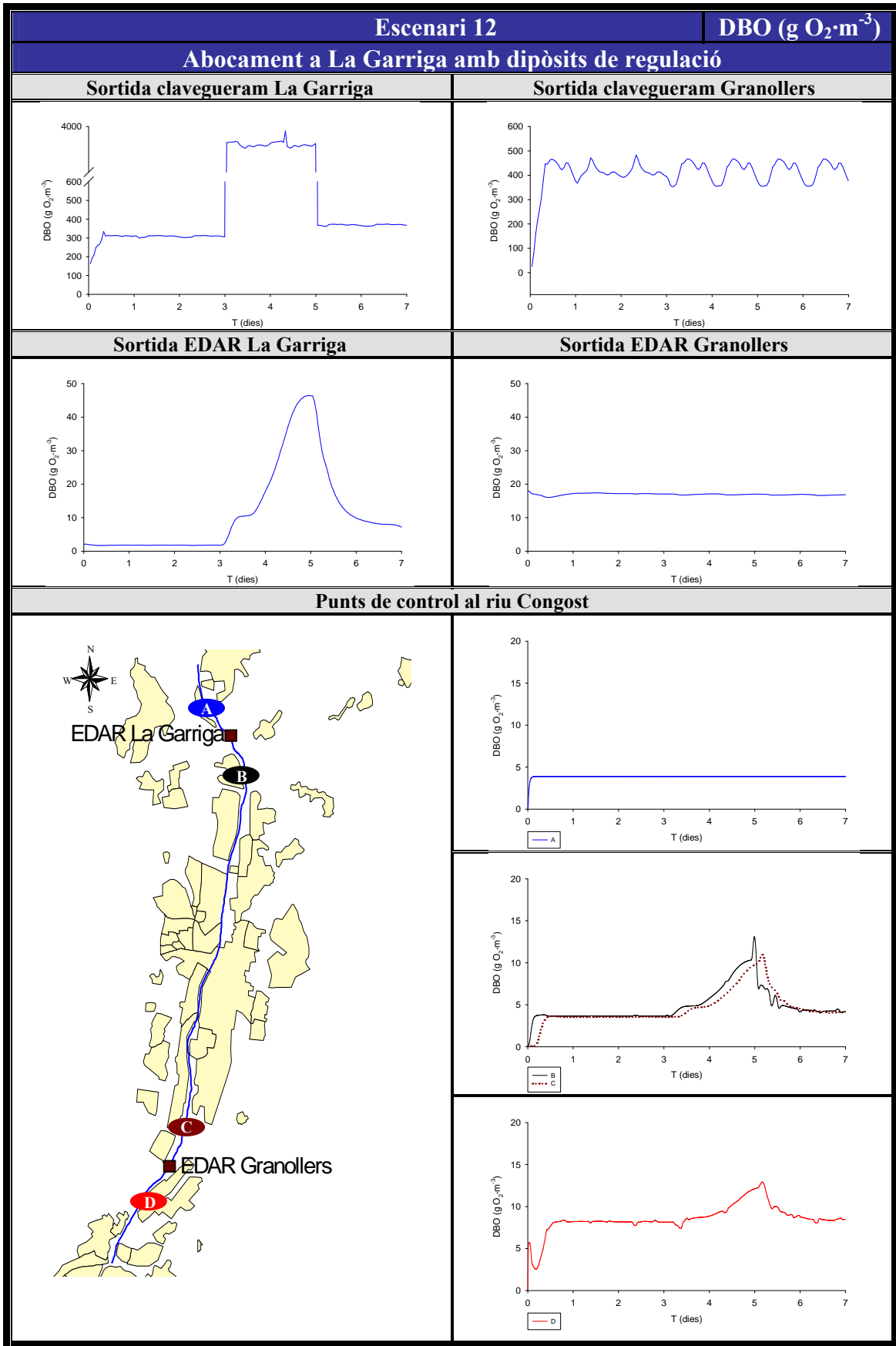
Els resultats gràfics de la concentració d'amoni i DBO a la sortida del sistema de clavegueram i de l'EDAR de La Garriga mostren la magnitud de l'abocament. En el tram B-C del riu Congost, després de l'efluent de l'EDAR de La Garriga, aquest abocament es tradueix en un augment considerable de la concentració d'amoni, sent molt menys important en el tram D, on l'efluent de l'EDAR Granollers, amb més concentració, l'oculta parcialment.

<b>Escenari 12</b>					
<b>Abocament a La Garriga amb dipòsits de regulació</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2	Abocaments industrials especials	-	
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000			
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4322	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20026
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1322		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	410
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	124		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	47
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	1260		MES (g·m <sup>-3</sup> )	317
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		4291	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		18962
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		11.51	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		16.96
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		25.44	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		39.33
MES (g·m <sup>-3</sup> )		5.29	MES (g·m <sup>-3</sup> )		18.55
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









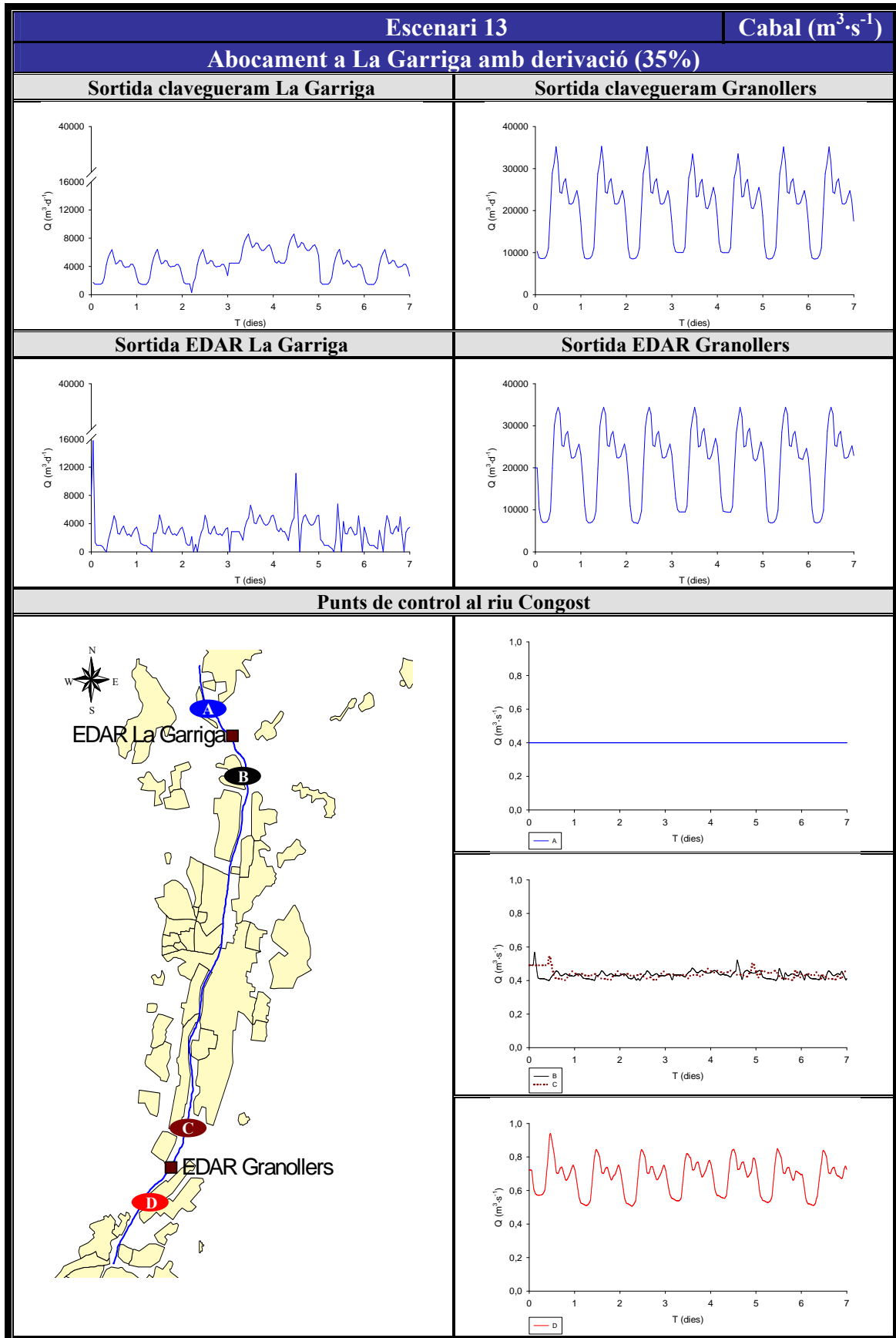
---

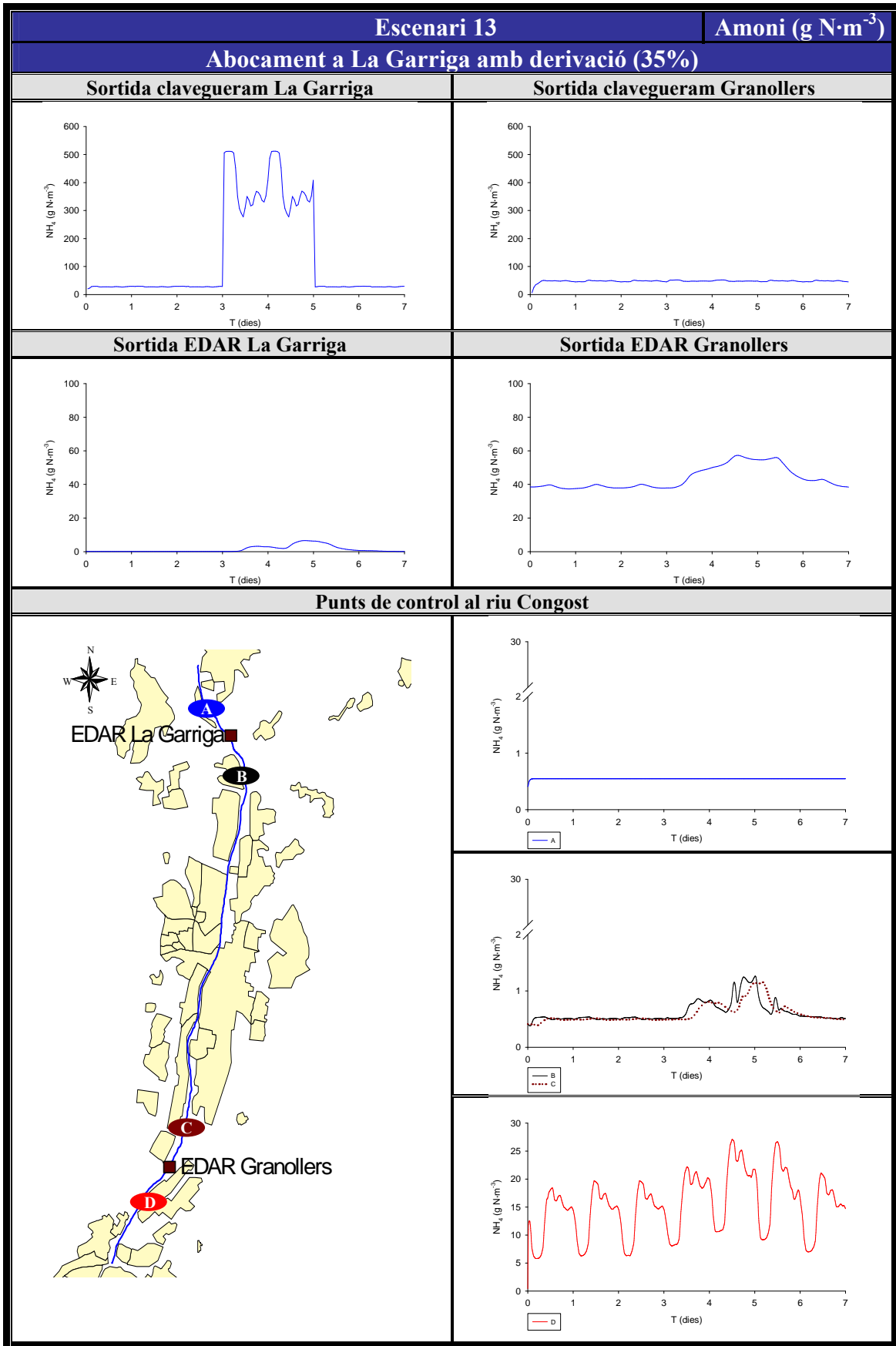
**Escenari 12: Abocament a La Garriga amb dipòsits de regulació**

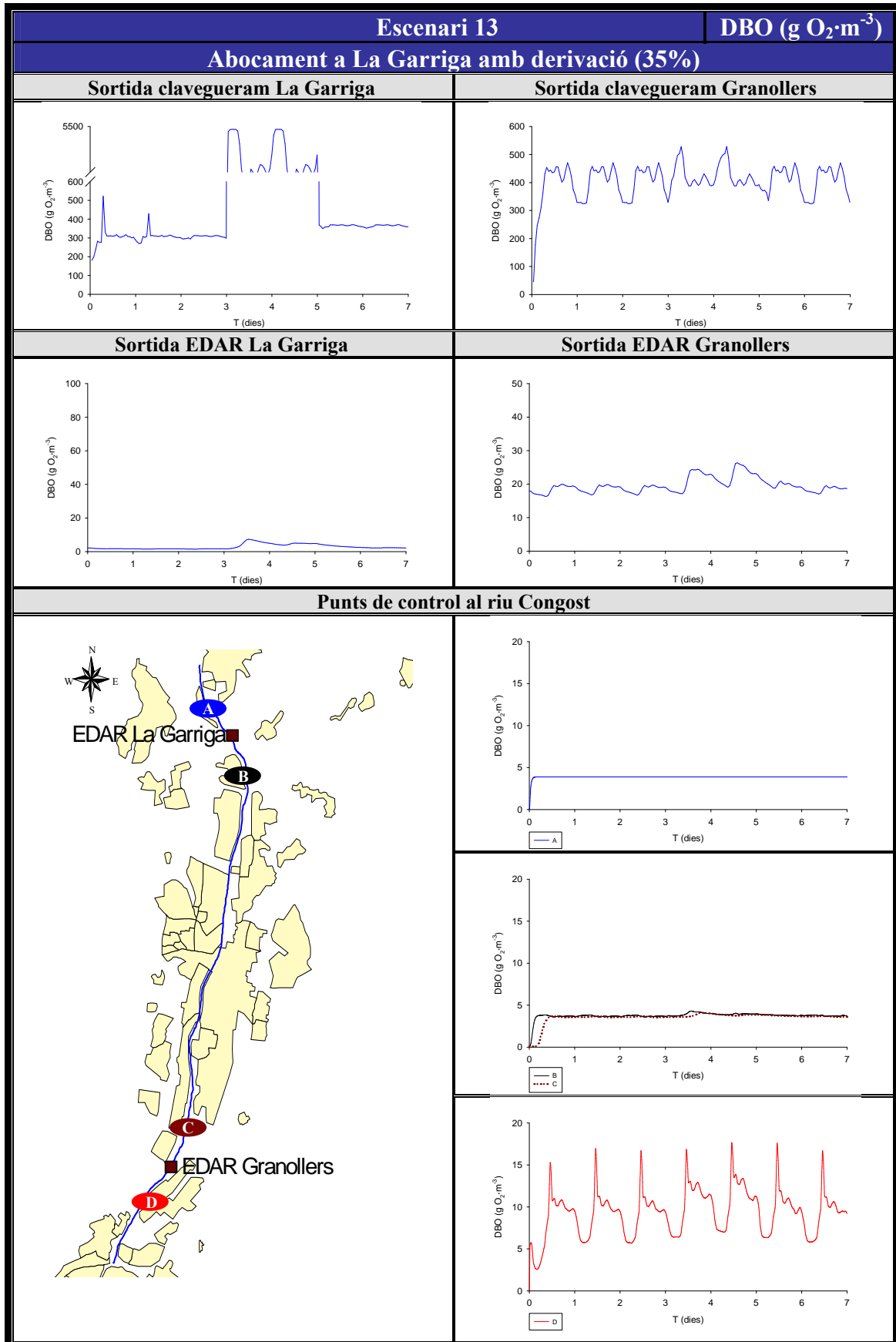
---

S'observa l'efecte de laminació de cabal produït pel dipòsits de regulació, però no hi ha diferències significatives en les concentracions d'amoni i DBO respecte a l'escenari 11 (sense dipòsits de regulació). L'efecte de laminació varia els perfils d'amoni i DBO en el riu però els valors mitjans entre l'escenari 11 i 12 són molt semblants.

<b>Escenari 13</b>					
<b>Abocament a La Garriga amb derivació (35%)</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2	Abocaments industrials especials		-
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850			
MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000				
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			Garriga → Granollers: 35% del cabal d'entrada		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4410	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1379		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	130		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	1264		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	623	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		2920	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		20872
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.81	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		19.63
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		1.36	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		43.73
MES (g·m <sup>-3</sup> )		3.64	MES (g·m <sup>-3</sup> )		19.53
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









---

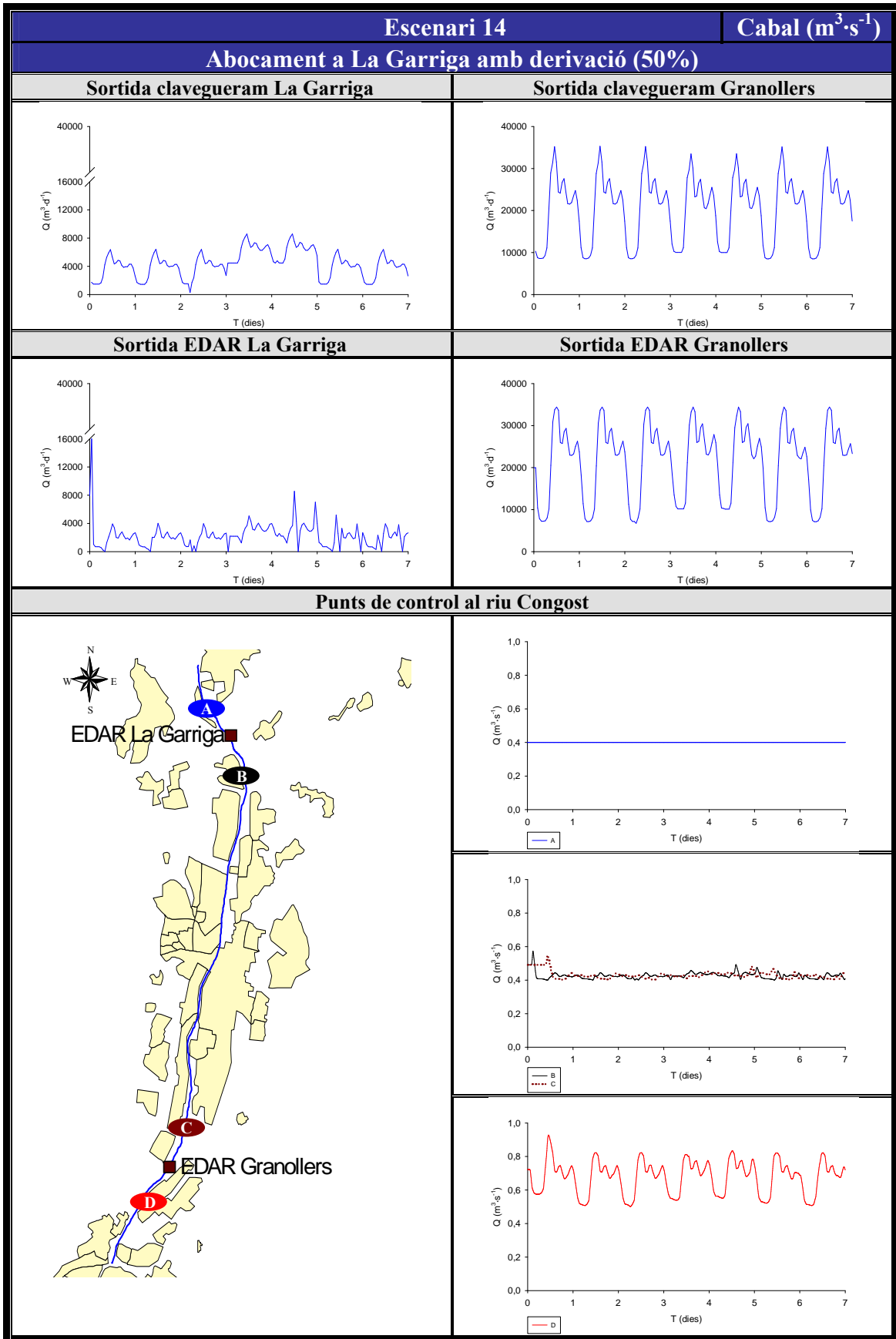
**Escenari 13: Abocament a La Garriga amb derivació (35%)**

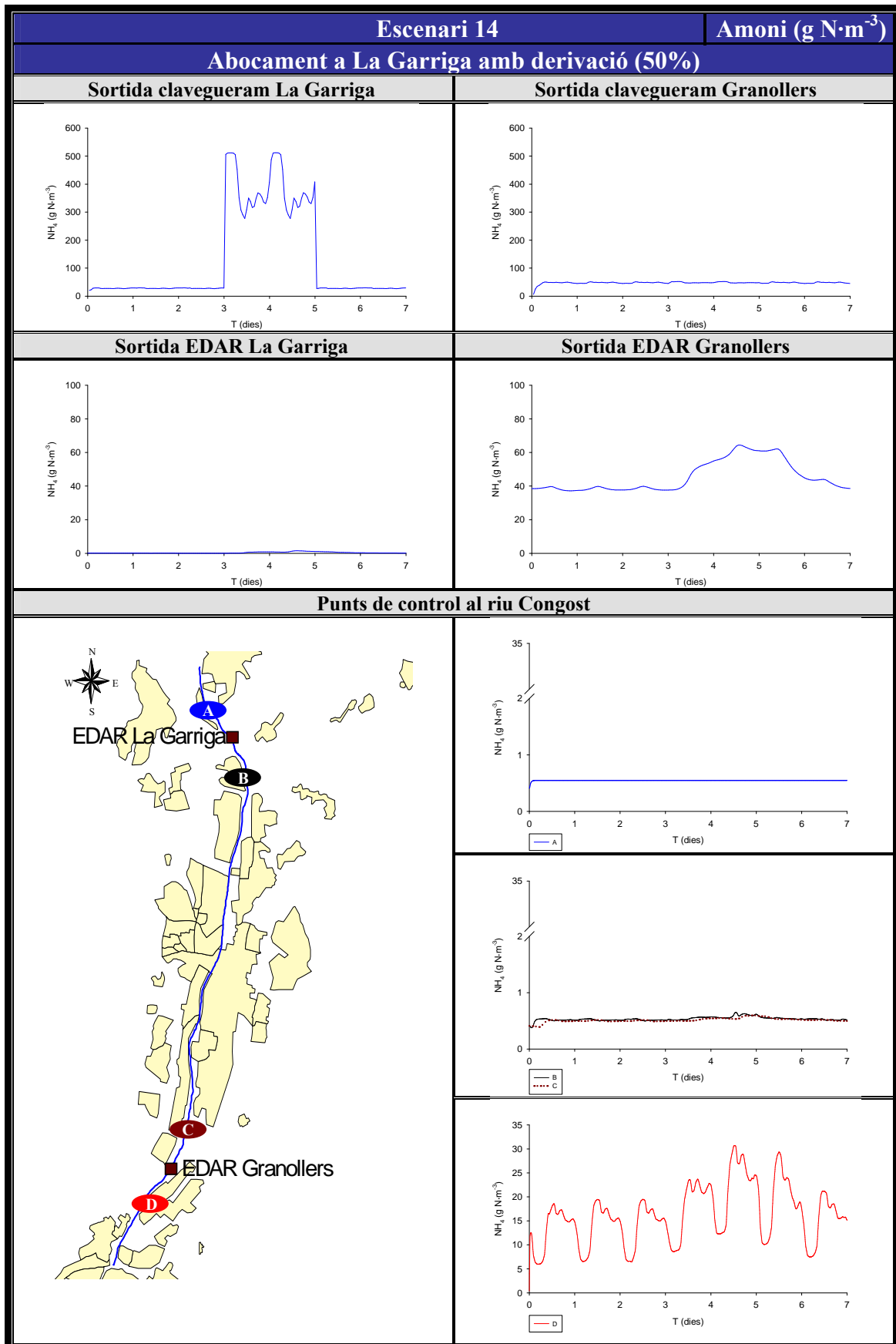
---

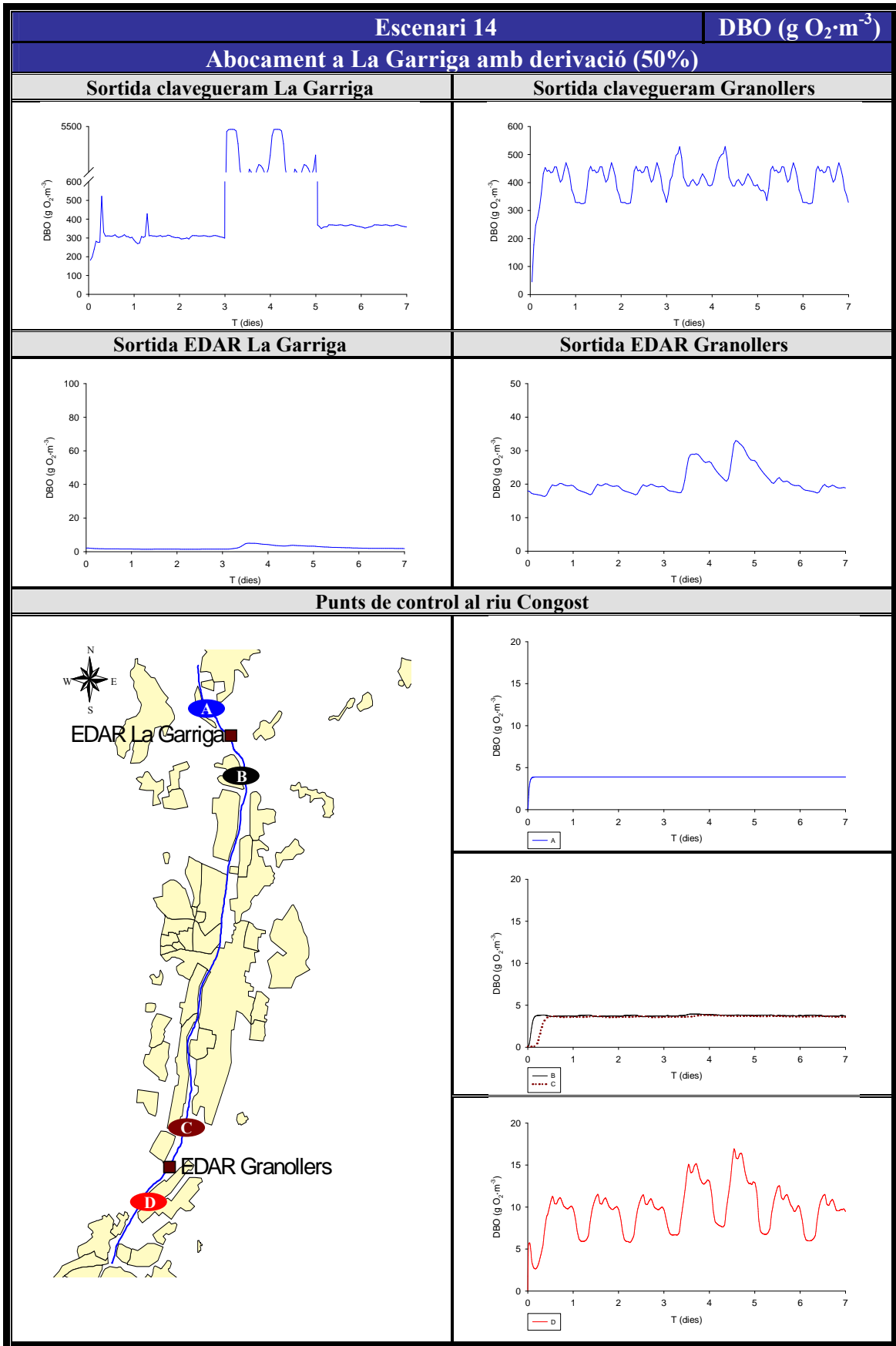
Situació en la qual es simula l'abocament d'aigües residuals de l'escenari 11, però amb una derivació del 35% del cabal d'entrada cap a l'EDAR Granollers.

La derivació d'aquest cabal permet a l'EDAR de La Garriga augmentar el seu rendiment d'eliminació. A l'EDAR Granollers el nou cabal aportat amb aquesta derivació disminueix la qualitat de l'aigua de sortida respecte a l'amoni, encara que el fet de que aquesta EDAR no estigui nitrificant fa que l'impacte del cabal derivat sigui menor. Amb aquesta derivació s'aconsegueix reduir dràsticament la concentració d'amoni en el tram B-C del riu Congost, a canvi d'augmentar-la lleugerament al tram D. Així, en el tram B, per exemple, la reducció mitjana respecte a l'escenari 11 és d'un 80%, mentre que en el tram D la concentració augmenta en un 5%. Si es compara aquesta situació amb la de l'escenari 11, la derivació de cabal permet tenir un tram d'uns 11 km amb concentracions d'amoni molt més baixes, encara que es sobrepassa, lleugerament, el límit màxim de referència ( $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de concentracions d'amoni, que de forma persistent poden resultar tòxiques per la vida aquàtica. La situació respecte a la DBO és semblant però amb una reducció mitjana al tram B no tan dràstica, d'un 24%, respecte a l'escenari 11, i un augment de concentració al tram D d'un 6%.

<b>Escenari 14</b>					
<b>Abocament a La Garriga amb derivació (50%)</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2	Abocaments industrials especials		-
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000			
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			Garriga → Granollers: 50% del cabal d'entrada		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4410	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1379		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	130		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	1264		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	931	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		2288	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		21436
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.30	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		20.87
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.37	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		45.60
MES (g·m <sup>-3</sup> )		3.11	MES (g·m <sup>-3</sup> )		19.73
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







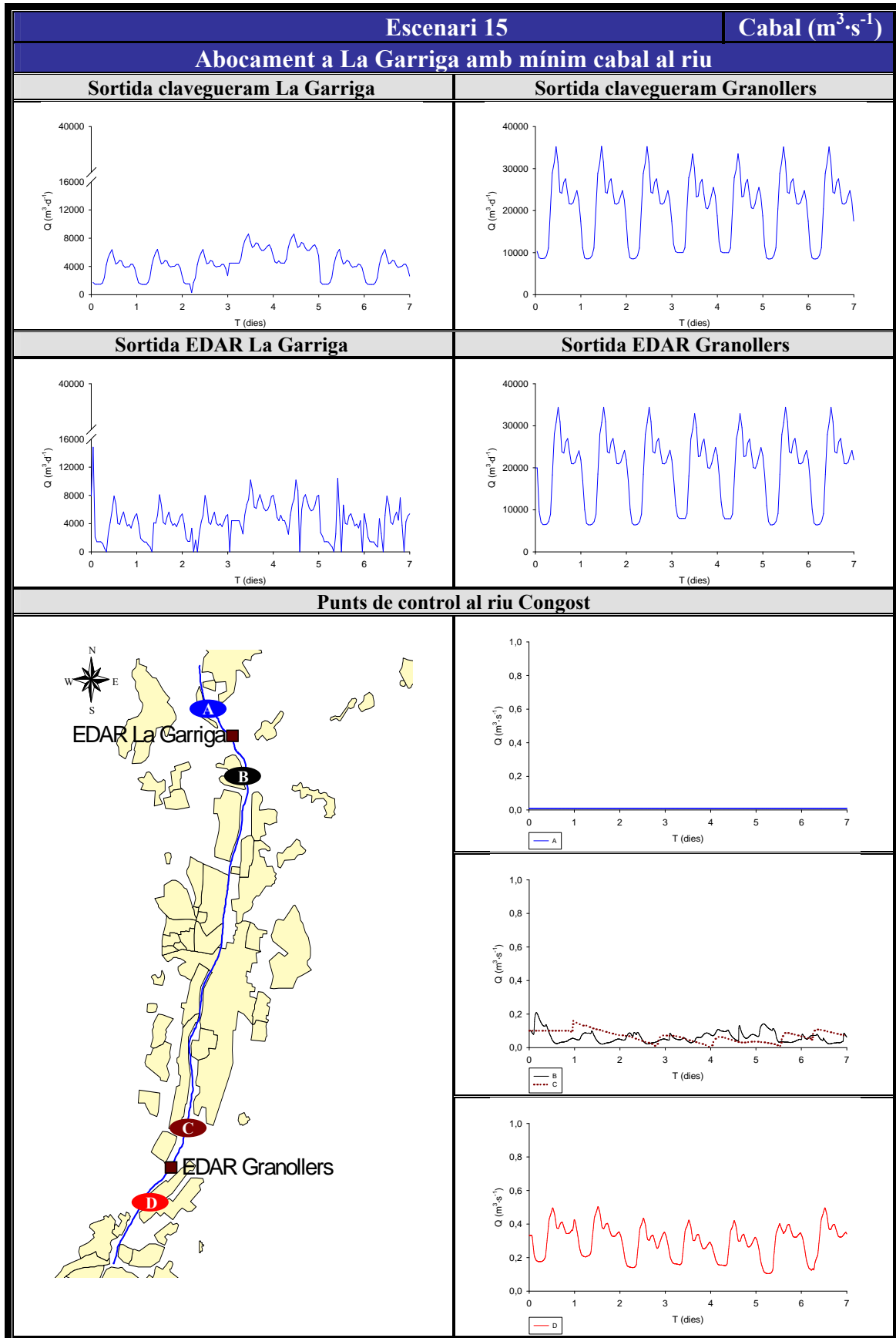
**Escenari 14: Abocament a La Garriga amb derivació (50%)**

---

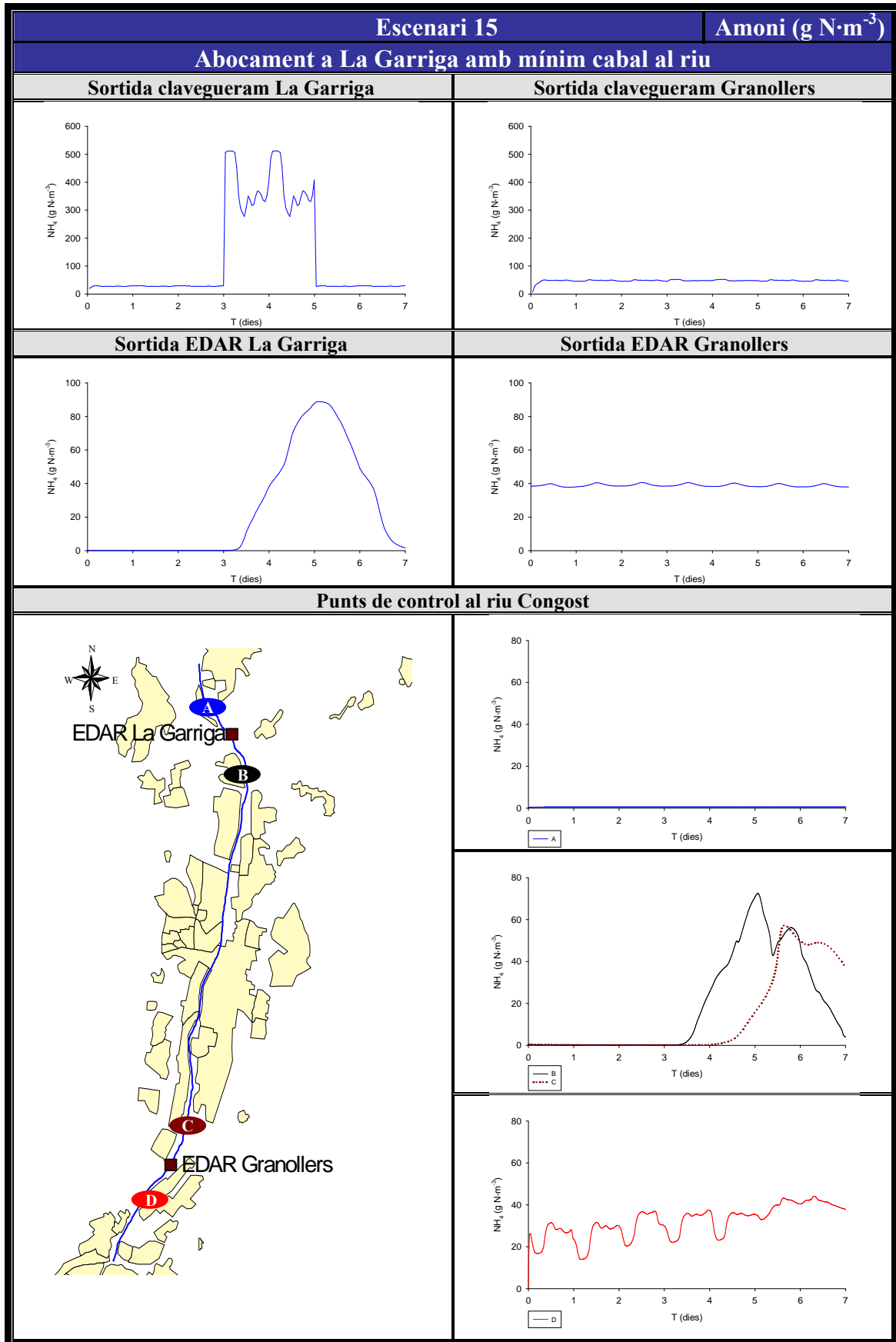
Situació en la qual es simula l'abocament d'aigües residuals de l'escenari 11, però amb una derivació del 50% del cabal d'entrada cap a l'EDAR Granollers.

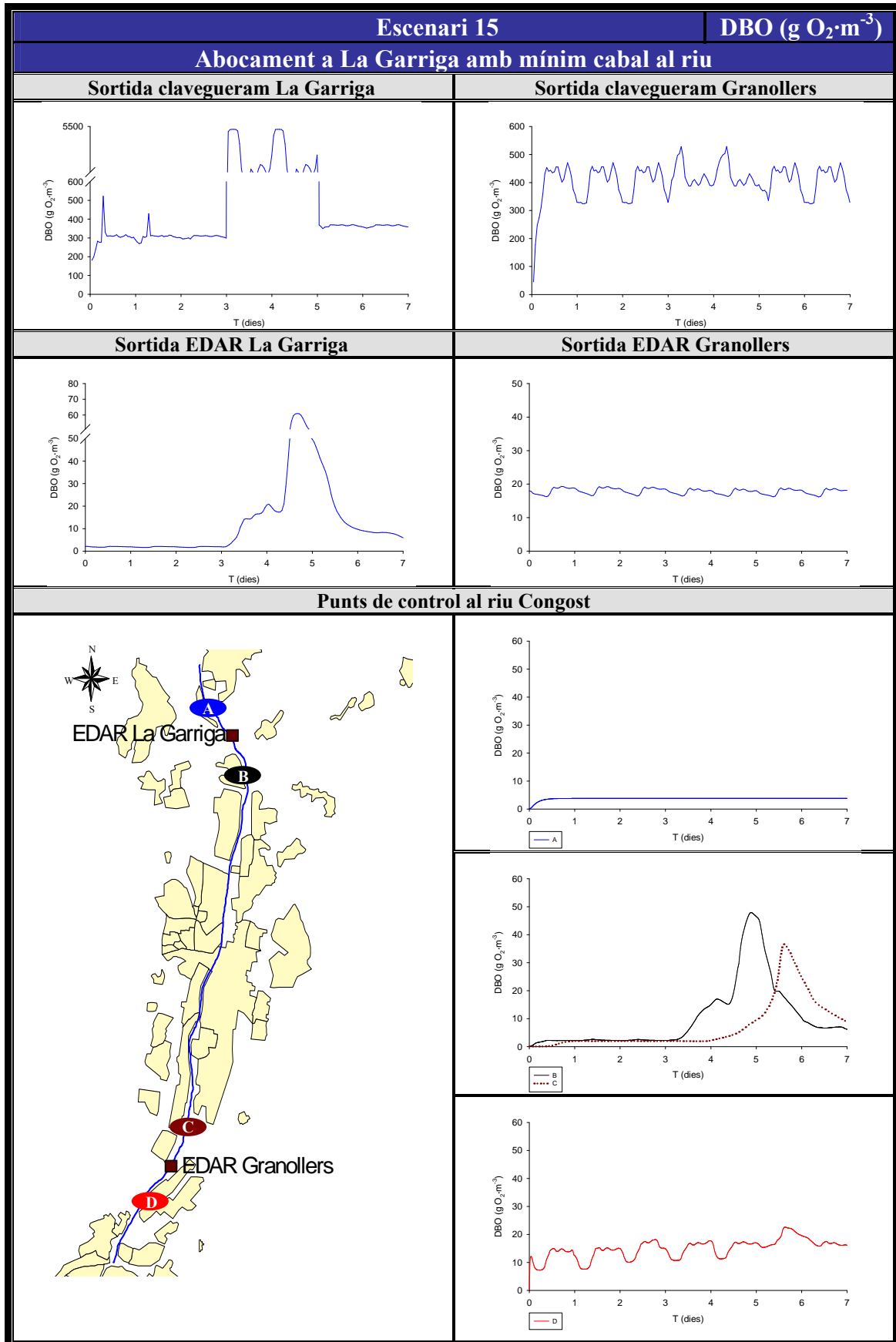
En aquest cas, la reducció mitjana d'amoni en el tram B, respecte a l'escenari 11, és d'un 84%, mentre que l'augment mitjà en la concentració, produït per la derivació, al tram D, és d'un 12%. El fet d'augmentar la derivació al 50%, duplica l'increment mitjà (d'un 6% a un 12%) respecte a l'escenari 11. No obstant, així s'aconsegueix reduir la concentració d'amoni en el tram B-C del riu Congost, fins a valors per sota del límit màxim de referència ( $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Pel que fa a la DBO la reducció al tram B és d'un 25%, mentre que l'augment al tram D és d'un 9%.

<b>Escenari 15</b>					
<b>Abocament a La Garriga amb mínim cabal al riu</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2	Abocaments industrials especials	-	-
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03		-	-
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000		-	-
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850		-	-
MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000	-	-	-	
Dipòsits de regulació	-	-	Dipòsits de regulació	-	-
Avaries	-	-	Avaries	-	-
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-	Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4410	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1379		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	130		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	1264		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-	Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	-
Altres	-	-	Altres	-	-
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.01			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5			
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4368		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19543	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	12.64		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.84	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	25.04		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	38.92	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	5.38		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.06	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









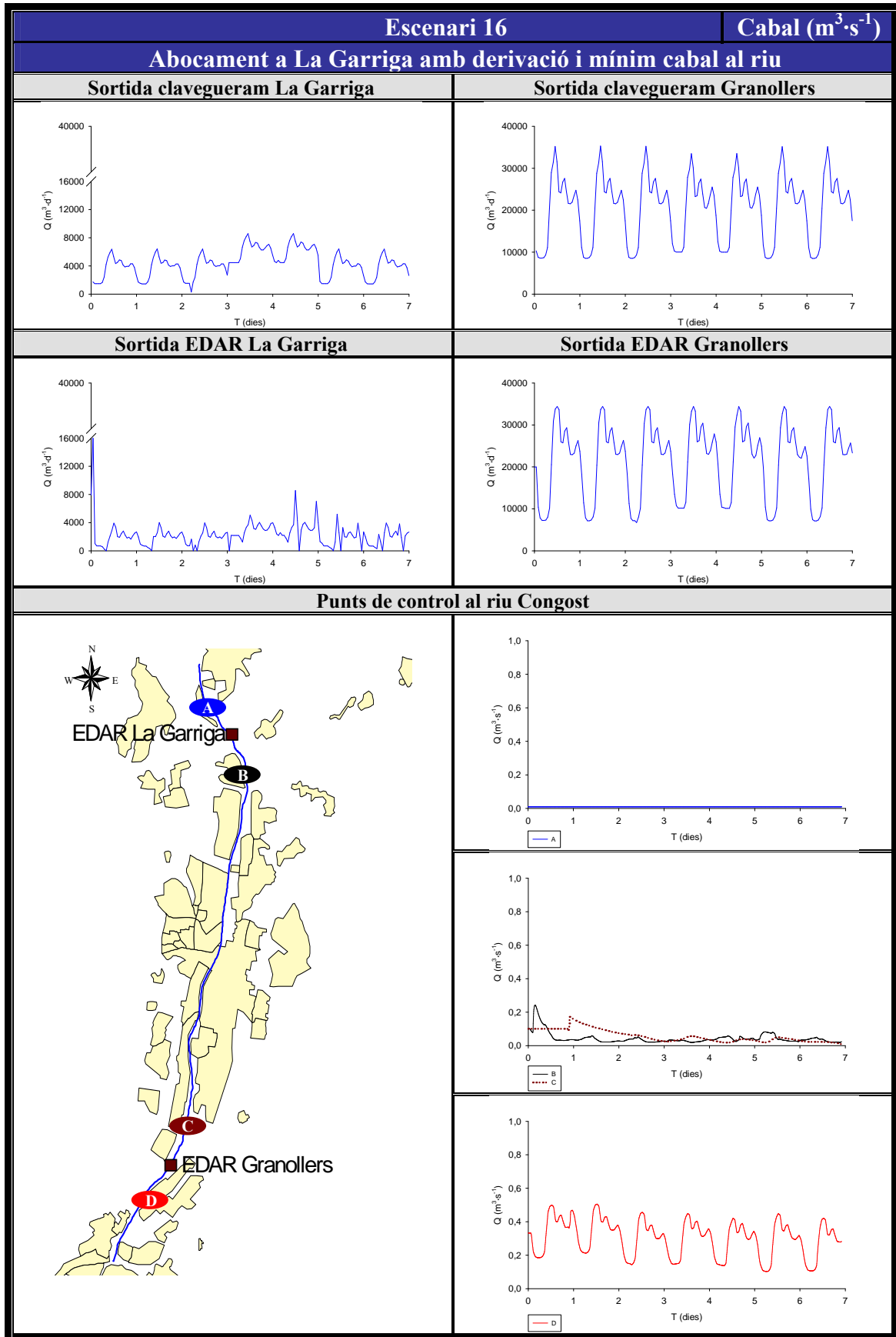
---

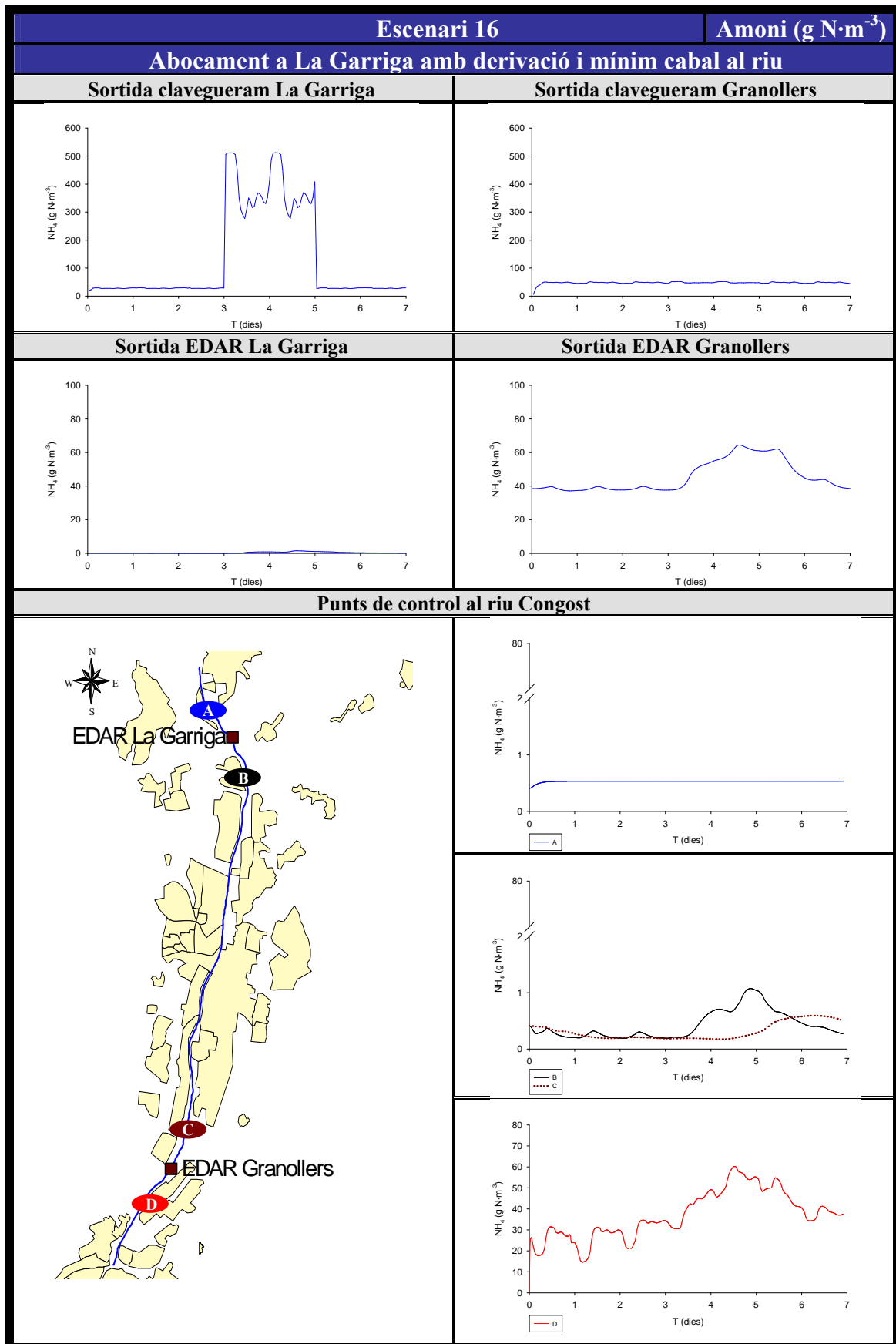
**Escenari 15: Abocament a La Garriga amb mínim cabal al riu**

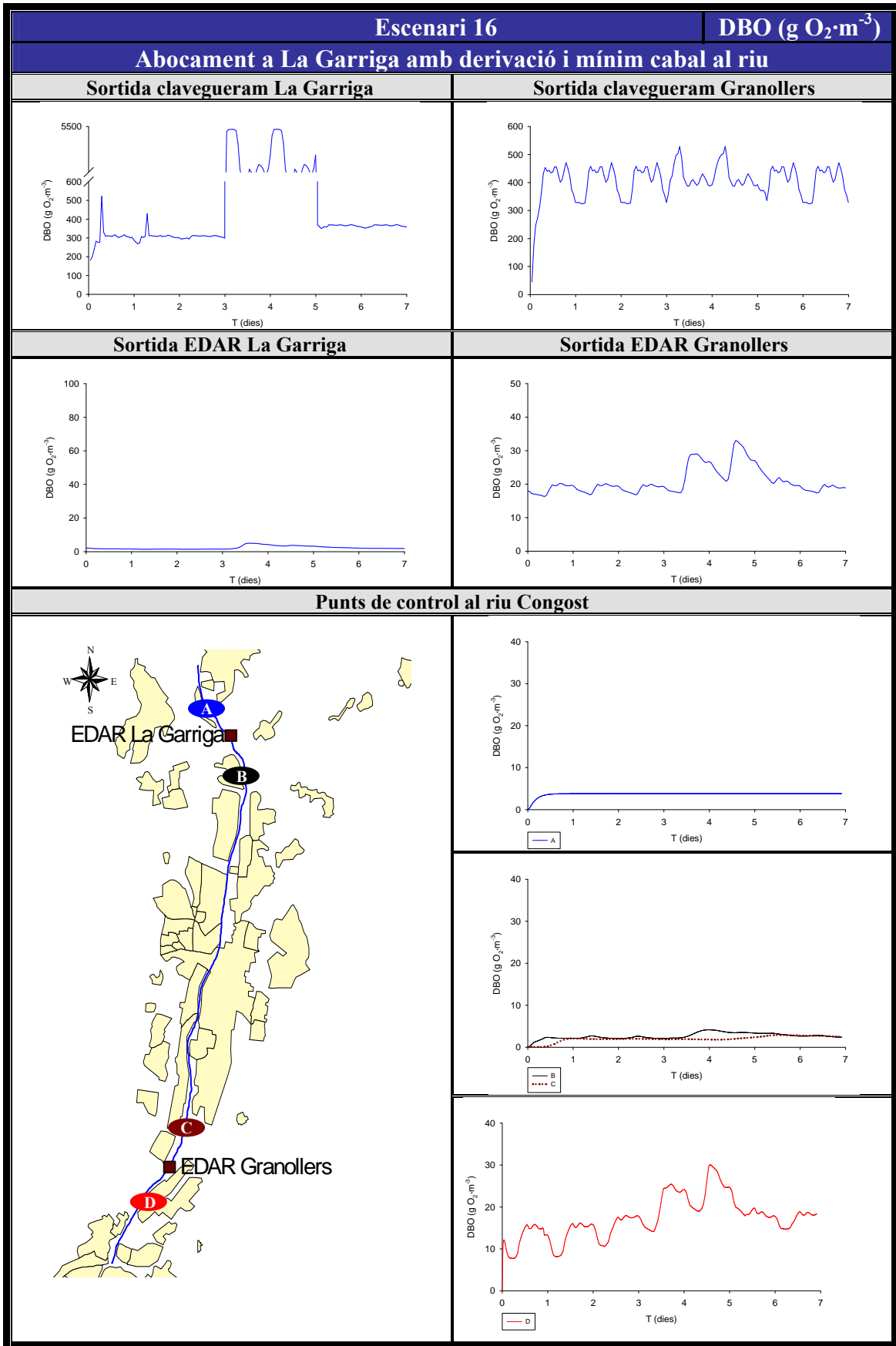
---

La condició de cabal mínim fa que la dilució de l'abocament, a través de l'efluent de l'EDAR de La Garriga, en el riu, sigui quasi nul·la, fet que s'observa en el perfils d'amoni i DBO dels trams B-C. Si es comparen els resultats del punt de control B, amb els de l'escenari 11, a partir del tercer dia de simulació, que és quan es produeix l'abocament, els valors mitjans d'amoni i DBO s'incrementen en un 500% i un 180% respectivament.

<b>Escenari 16</b>					
<b>Abocament a La Garriga amb derivació i mínim cabal al riu</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
<b>Model La Garriga</b>			<b>Model Granollers</b>		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2	Abocaments industrials especials		-
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000			
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			Garriga → Granollers: 50% del cabal d'entrada		
<b>Model La Garriga</b>			<b>Model Granollers</b>		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	4410	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	1379		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	130		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	1264		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.01		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	2288		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	21436	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	2.30		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	20.87	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.37		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45.60	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	3.11		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.73	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







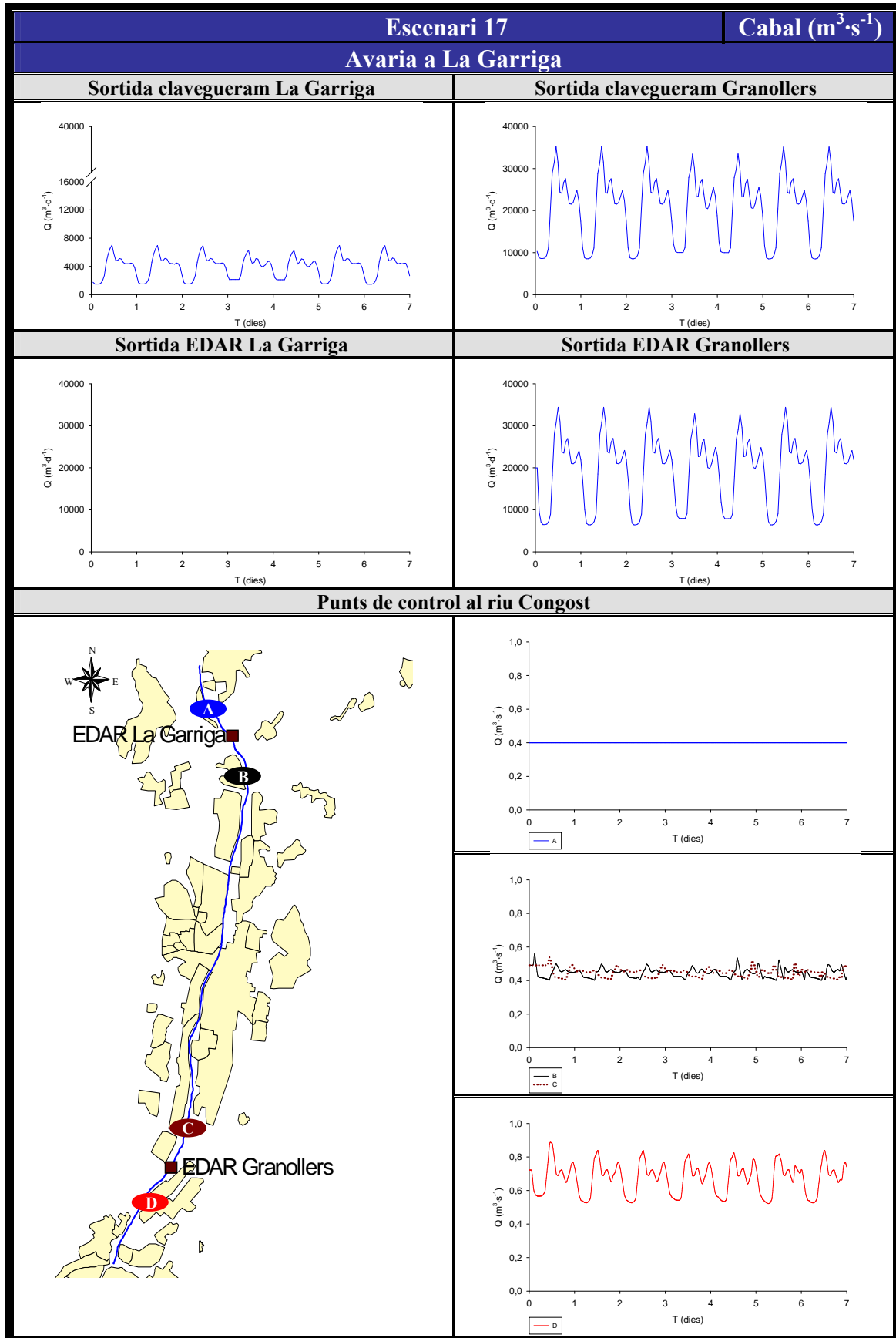
**Escenari 16: Abocament a La Garriga amb derivació i mínim cabal al riu**

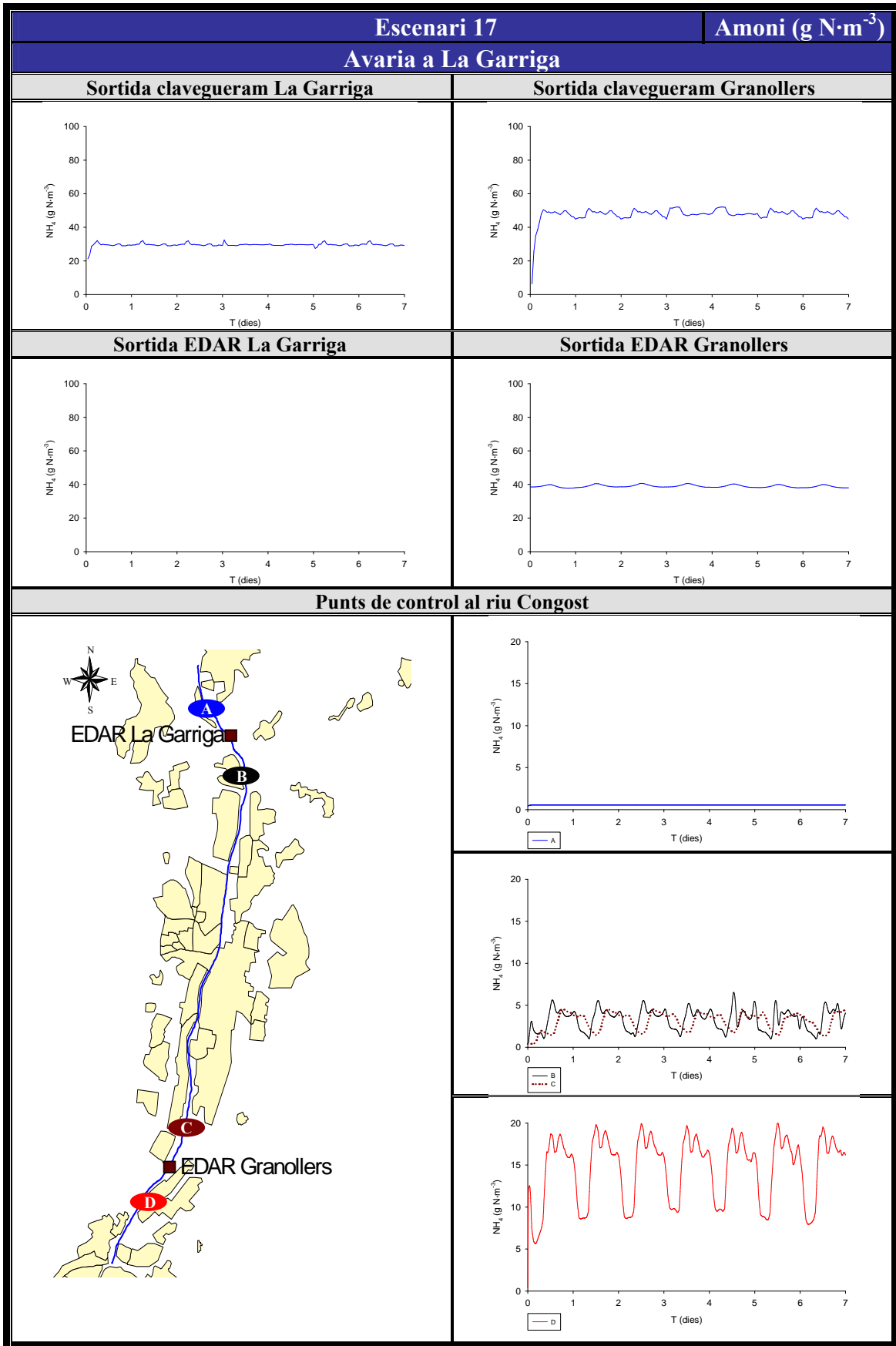
---

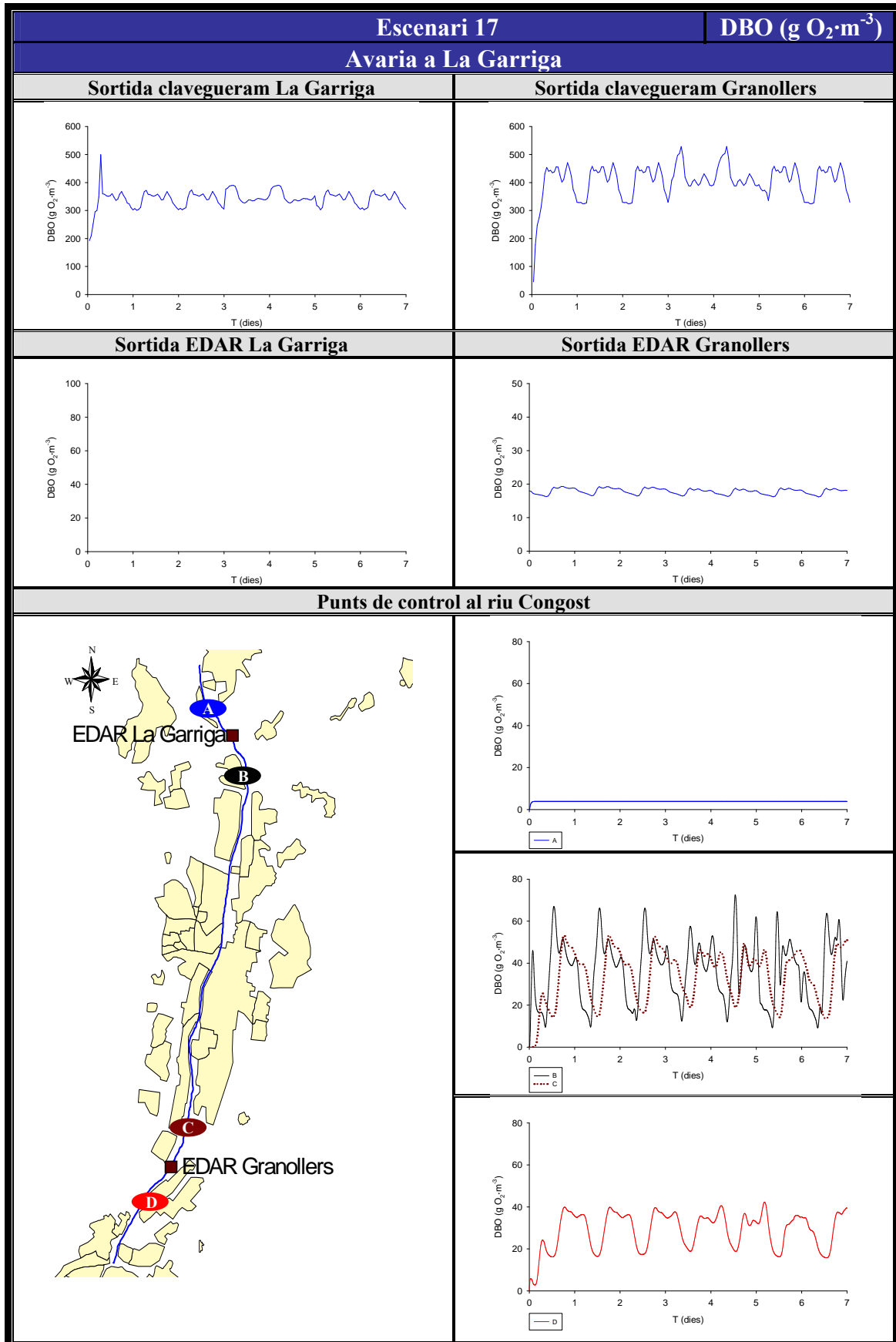
En aquestes condicions, i també a partir del tercer dia de simulació i al punt de control B, la derivació del 50% del cabal cap a l'EDAR Granollers permet reduir respecte a l'escenari 15, la concentració d'amoni en un 98% i la de DBO en un 80%. A més, les concentracions d'amoni es mantenen, gairebé sempre, per sota del límit d' $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  de referència.



<b>Escenari 17</b>					
<b>Avaria a La Garriga</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	Es simula una parada de l'EDAR, derivant l'aigua residual cap al riu		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		-	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		19543
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		-	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		17.84
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		-	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		38.92
MES (g·m <sup>-3</sup> )		-	MES (g·m <sup>-3</sup> )		19.06
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







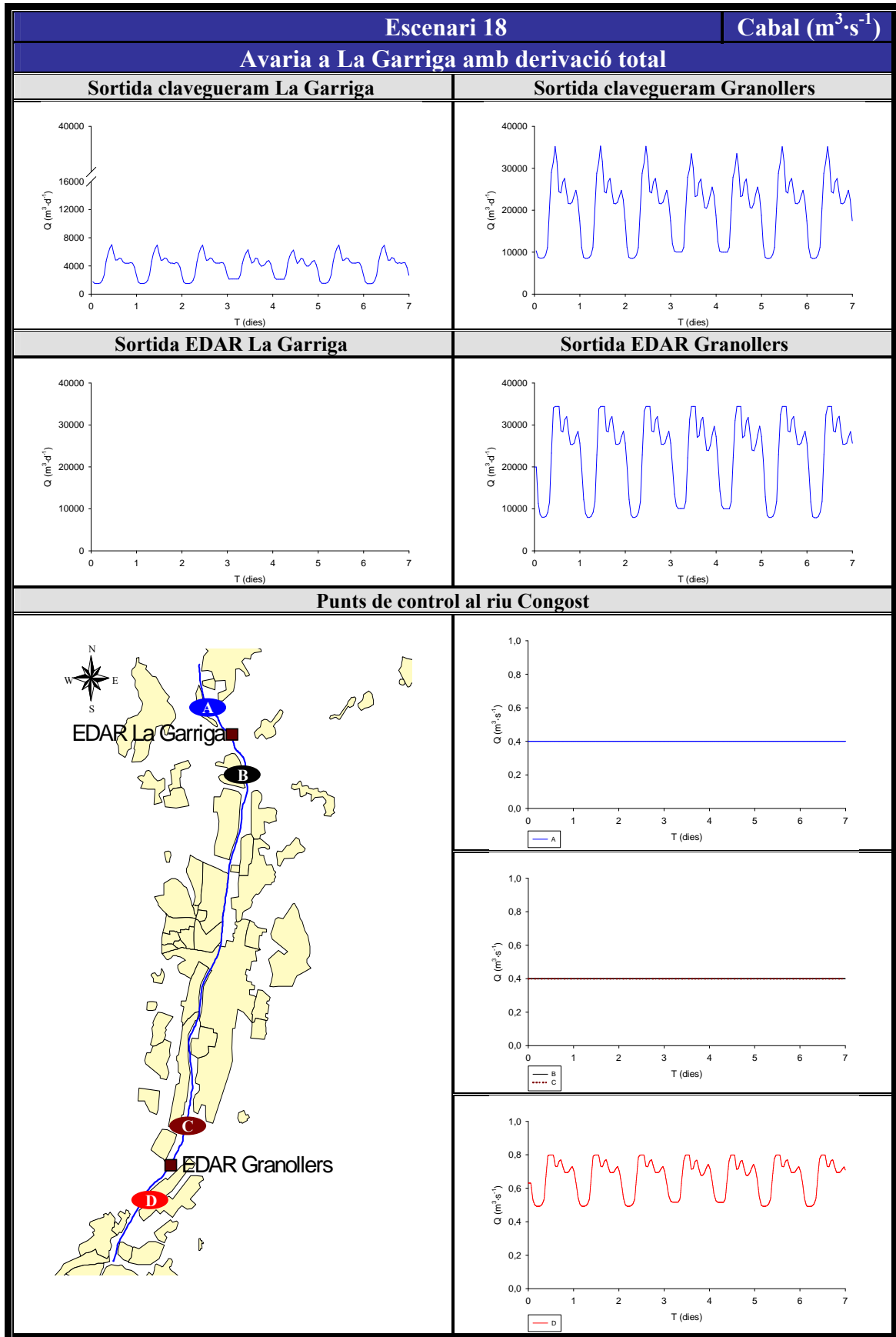
---

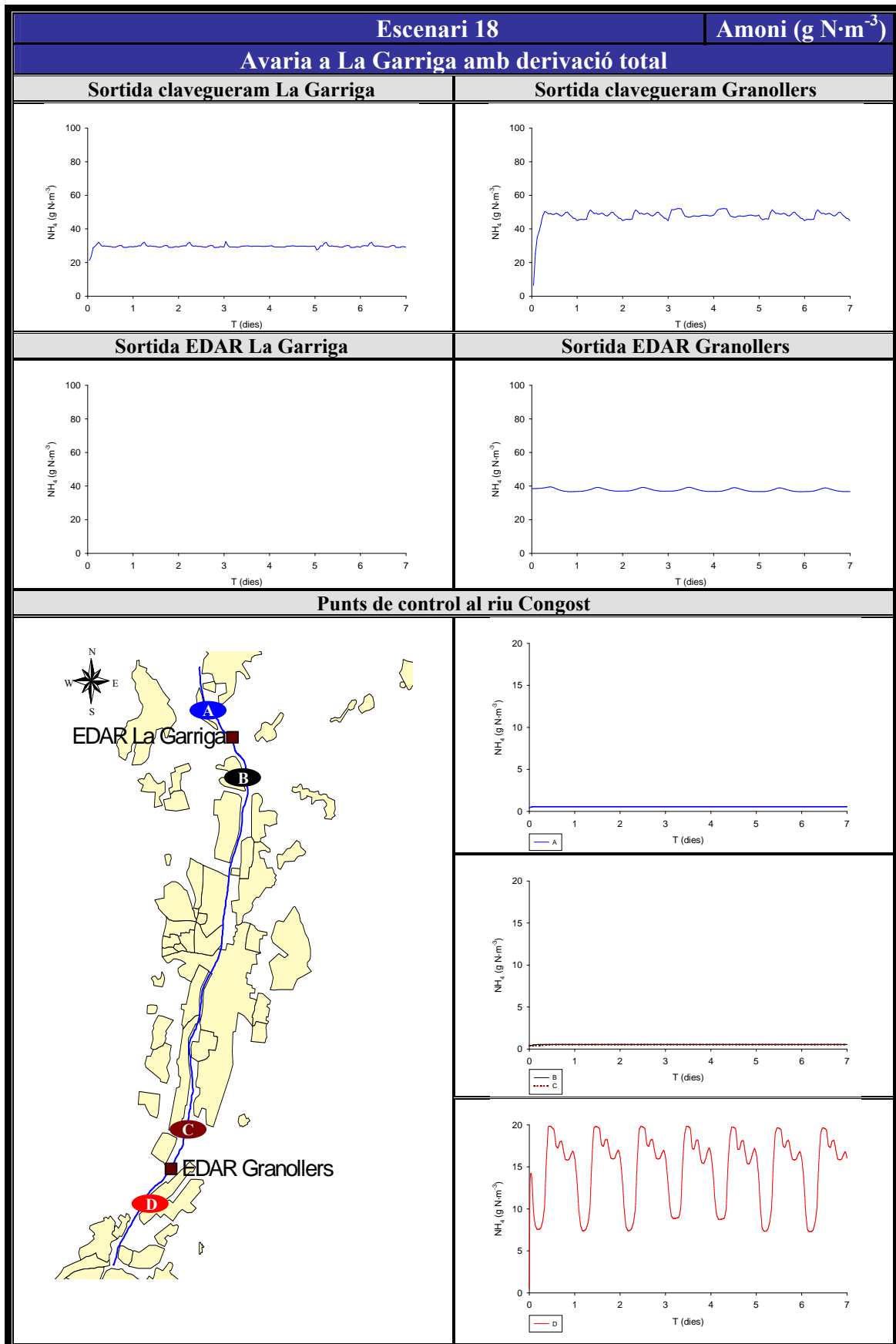
**Escenari 17: Avaria a La Garriga**

---

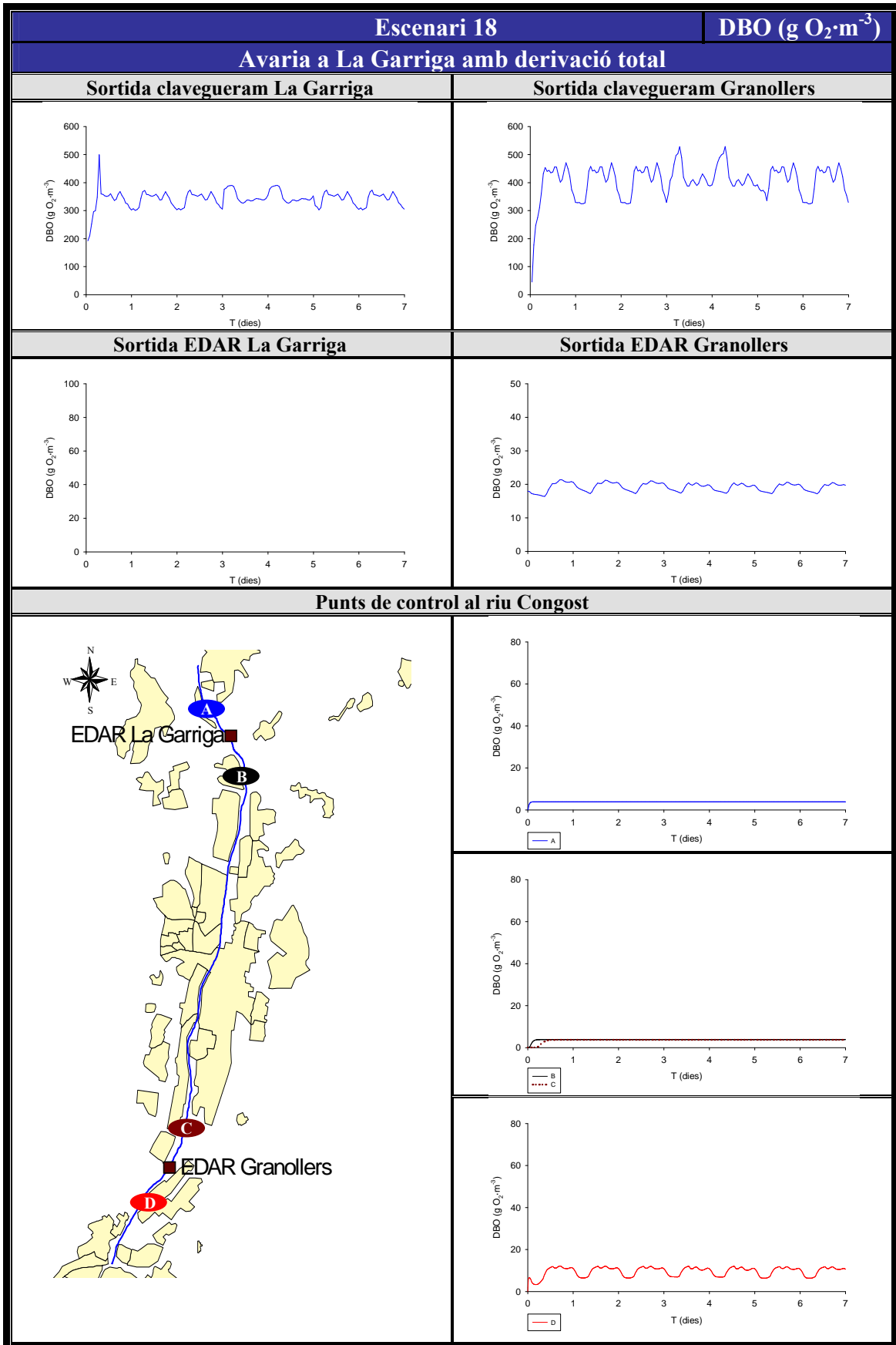
L'abocament directe de les aigües residuals de La Garriga, provocat per l'avaria de l'EDAR, incrementaria en el tram B-C, les concentracions d'amoni (superant àmpliament el límit de referència) i de DBO. S'observa un increment en la concentració mitjana d'amoni i DBO, respecte a l'escenari 1, al tram C del riu Congost, al voltant del 500% i el 900% respectivament. Davant d'aquesta situació la única alternativa possible és la de derivar aquest cabal cap a l'EDAR Granollers.

<b>Escenari 18</b>					
<b>Avaria a La Garriga amb derivació total</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			Garriga → Granollers: 100% del cabal d'entrada		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	3024	
Altres	Es simula una parada de l'EDAR, derivant l'aigua residual cap a l'EDAR Granollers		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		-	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		23025
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		-	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		19.18
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		-	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		37.67
MES (g·m <sup>-3</sup> )		-	MES (g·m <sup>-3</sup> )		20.01
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









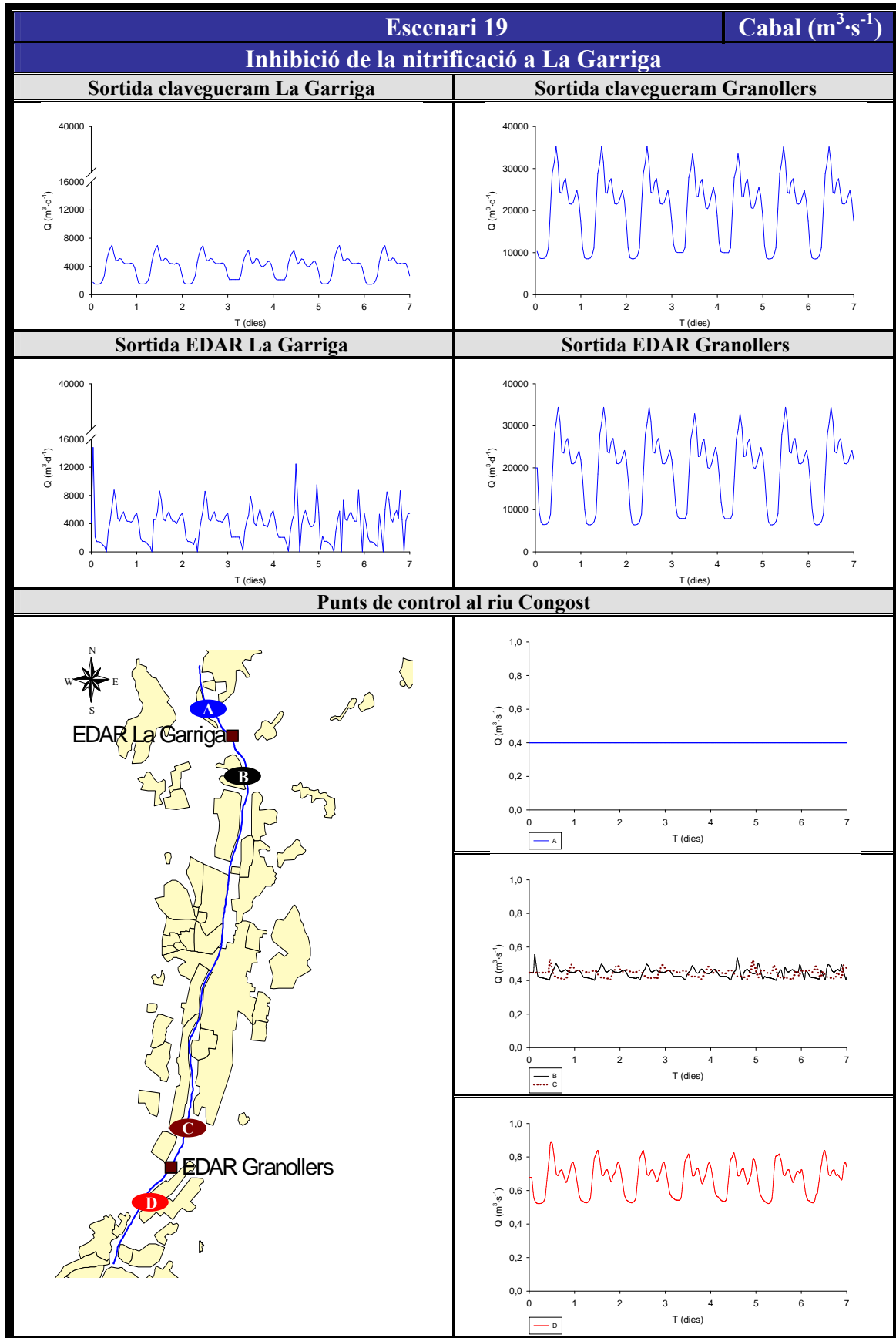
---

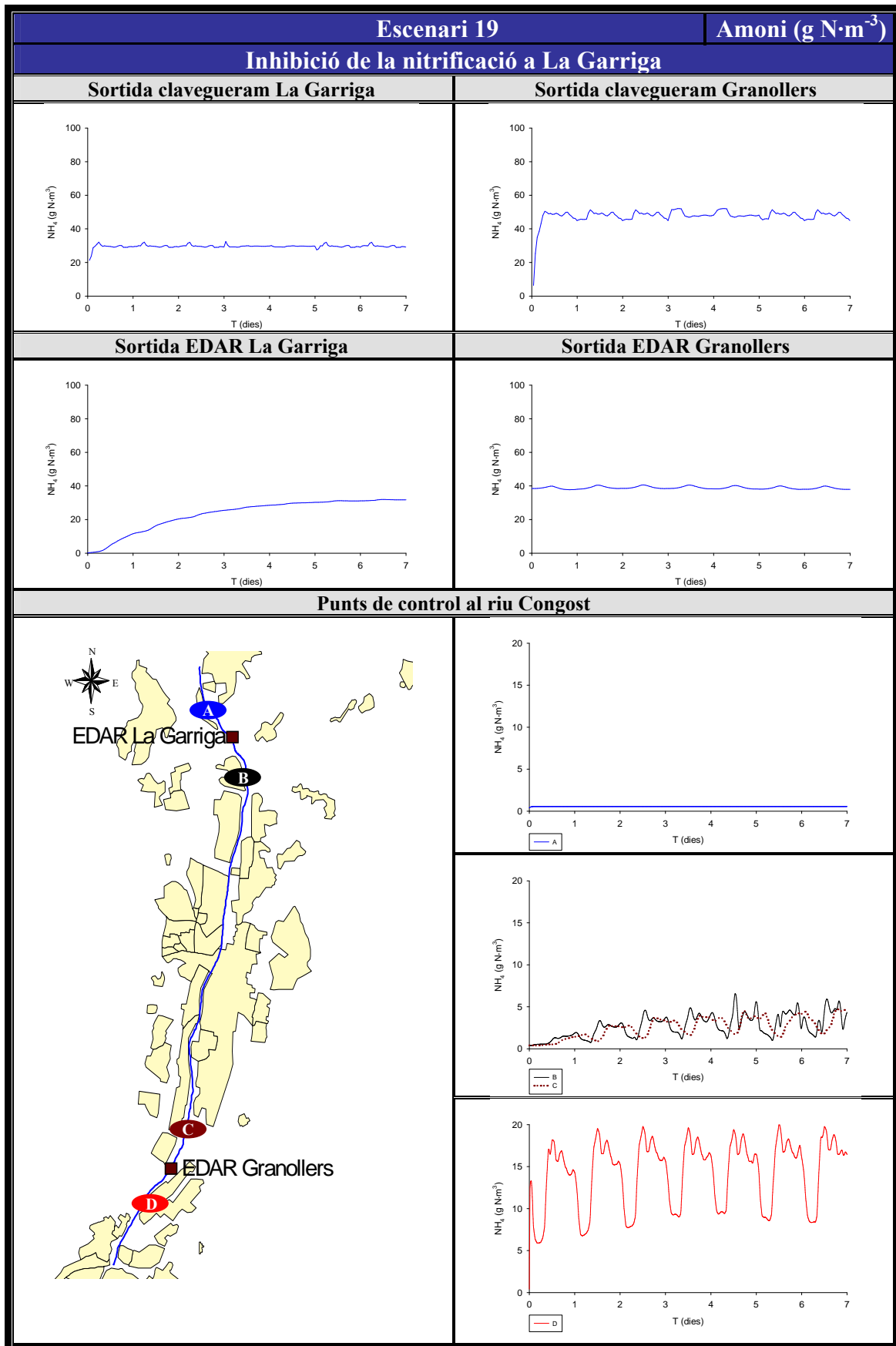
**Escenari 18: Avaria a La Garriga amb derivació total**

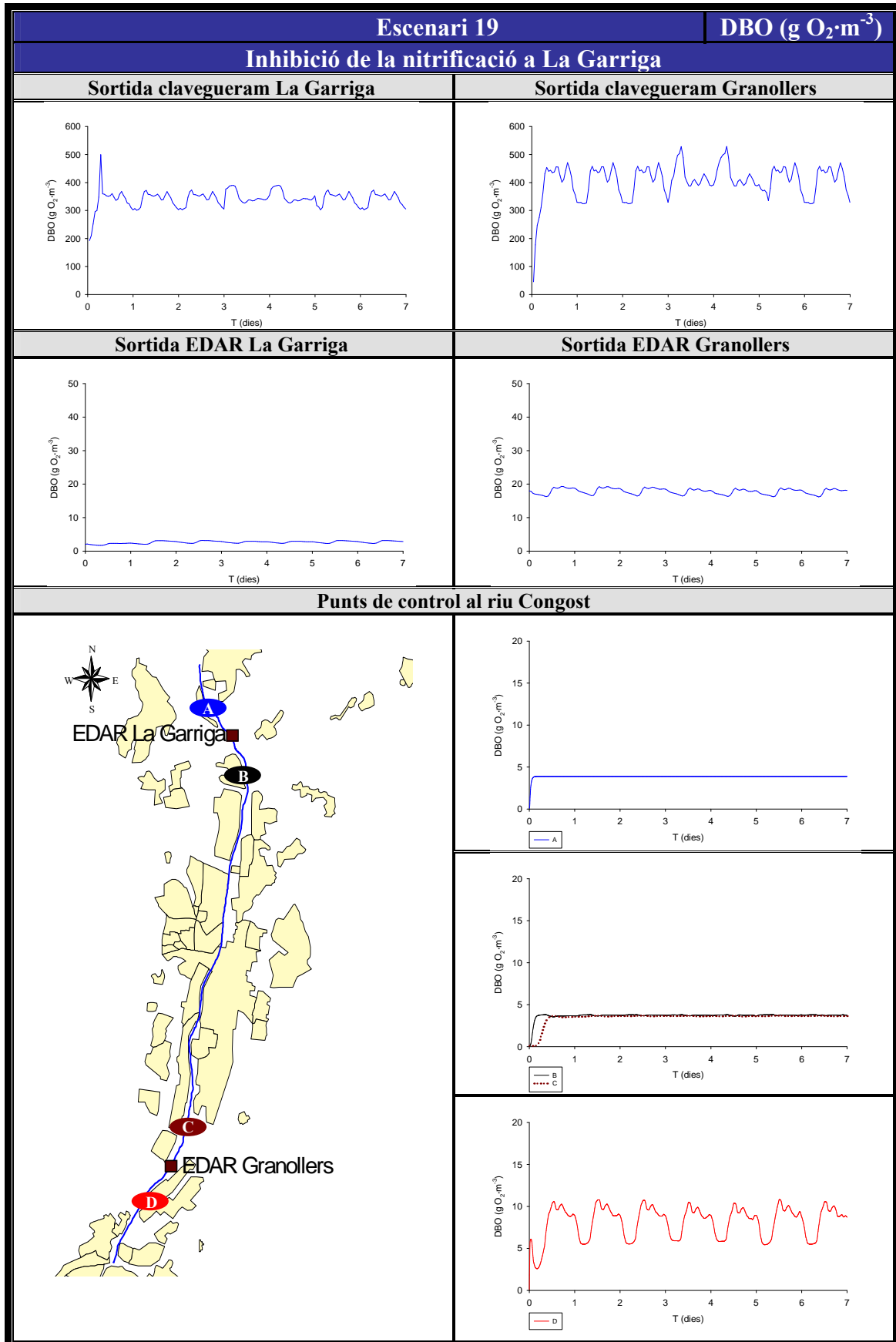
---

La derivació de cabal permet reduir les concentracions d'amoni i DBO en els 11 km del tram B-C, mantenint-se valors semblants als del punt inicial del riu. La influència de la derivació cap a l'EDAR Granollers provoca un augment del 15% en la concentració mitjana d'amoni al tram D, respecte a l'escenari 1, i un augment del 18% pel que fa a la DBO.

<b>Escenari 19</b>					
<b>Inhibició de la nitrificació a La Garriga</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	S'inhibeix la nitrificació		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.4	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3954		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19543	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	2.65		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.84	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	23.26		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	38.92	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.22		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.06	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







---

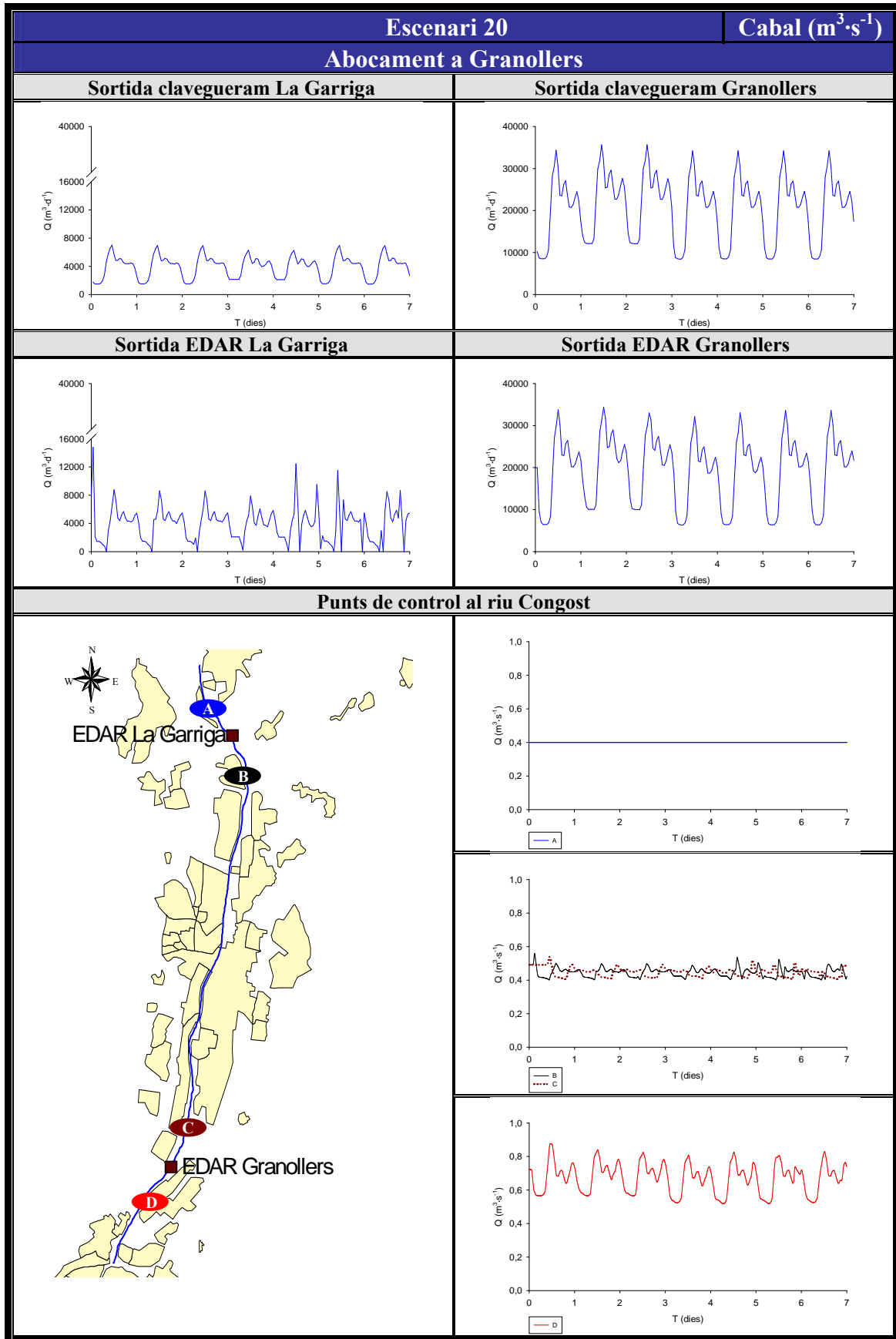
**Escenari 19: Inhibició de la nitrificació a La Garriga**

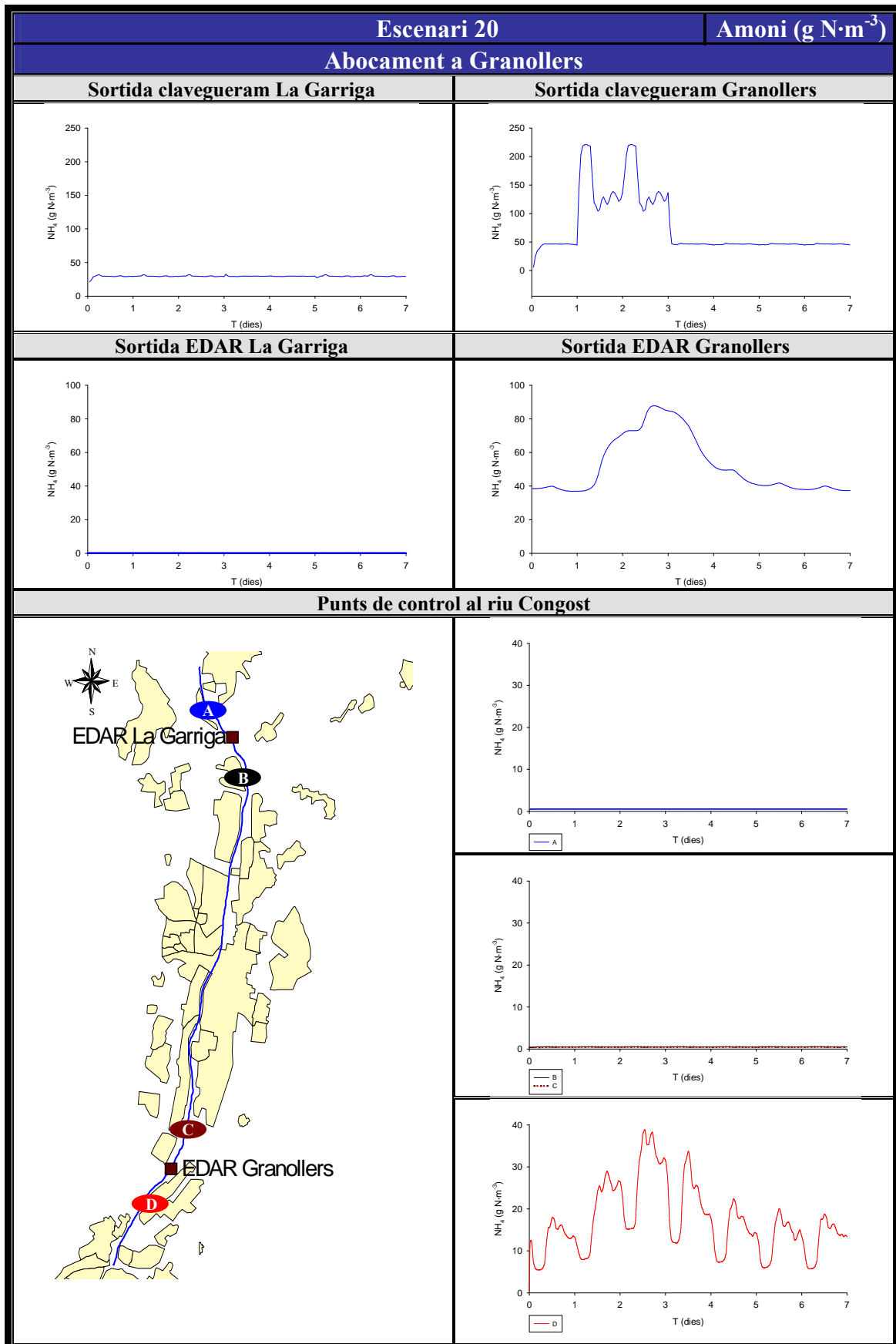
---

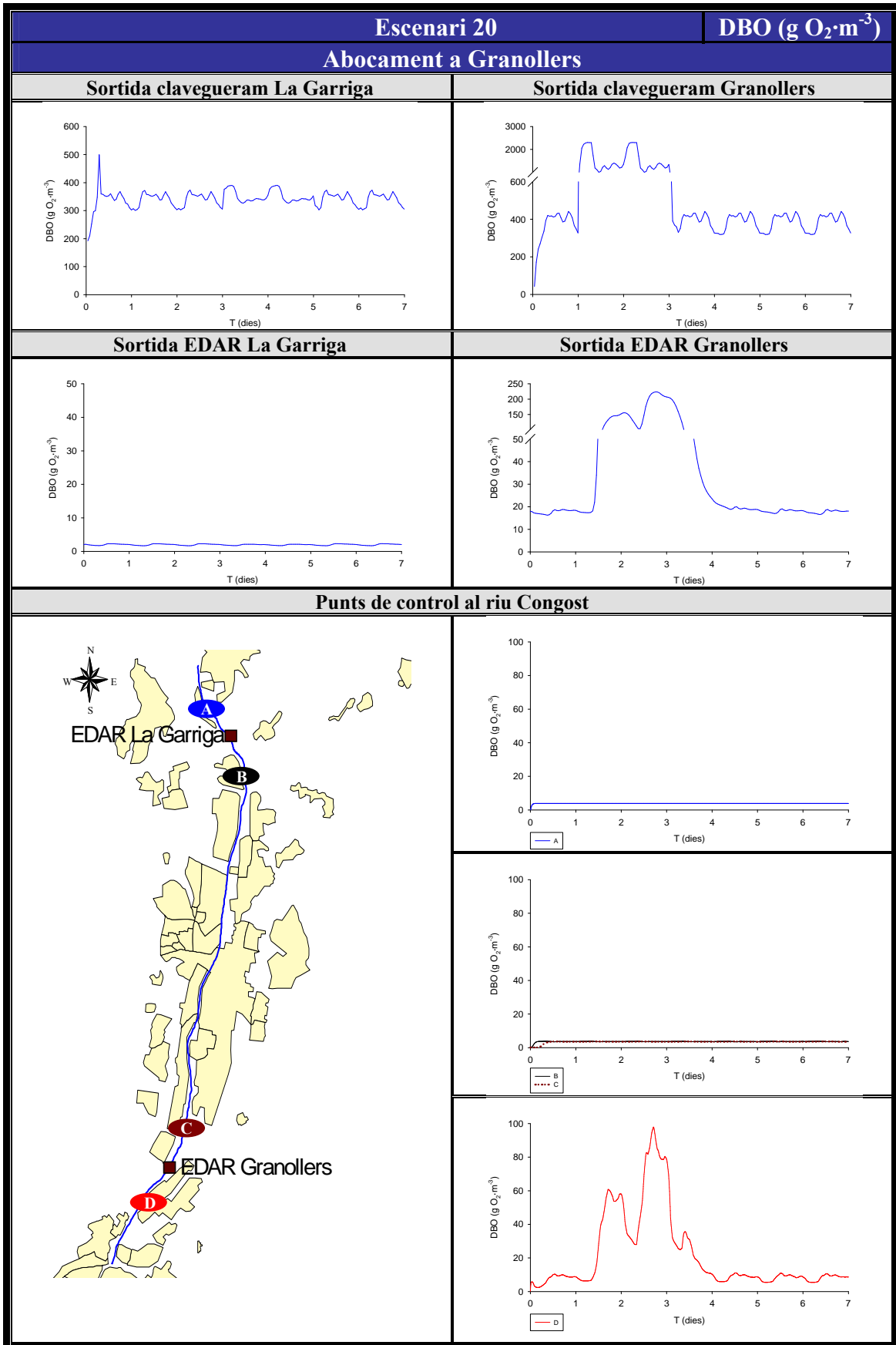
En els resultats gràfics de l'efluent de l'EDAR La Garriga s'observa un augment gradual de la concentració d'amoni, a partir del primer moment de la simulació, quan s'altera el procés de nitrificació. Aquest augment es tradueix en un increment al voltant del 500% en els valors mitjans dels trams B-C del riu Congost, respecte als de l'escenari 1.

<b>Escenari 20</b>					
<b>Abocament a Granollers</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2
	-			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03
	-			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000
	-			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850
-		MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000		
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20850
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	705
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	76
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	619
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	56	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		3959	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		19364
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.01	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		58.53
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.11	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		52.23
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.22	MES (g·m <sup>-3</sup> )		19.36
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









---

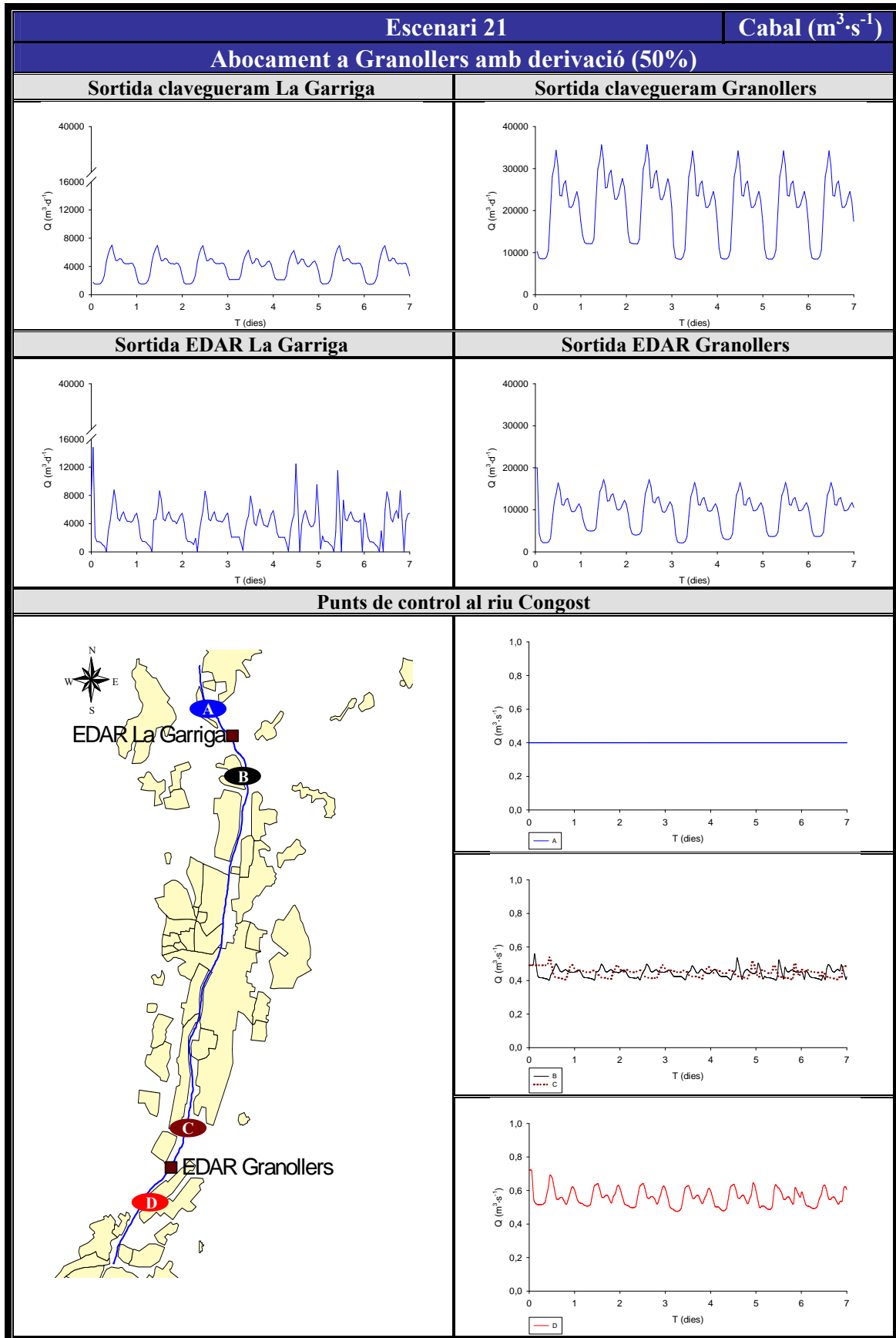
**Escenari 20: Abocament a Granollers**

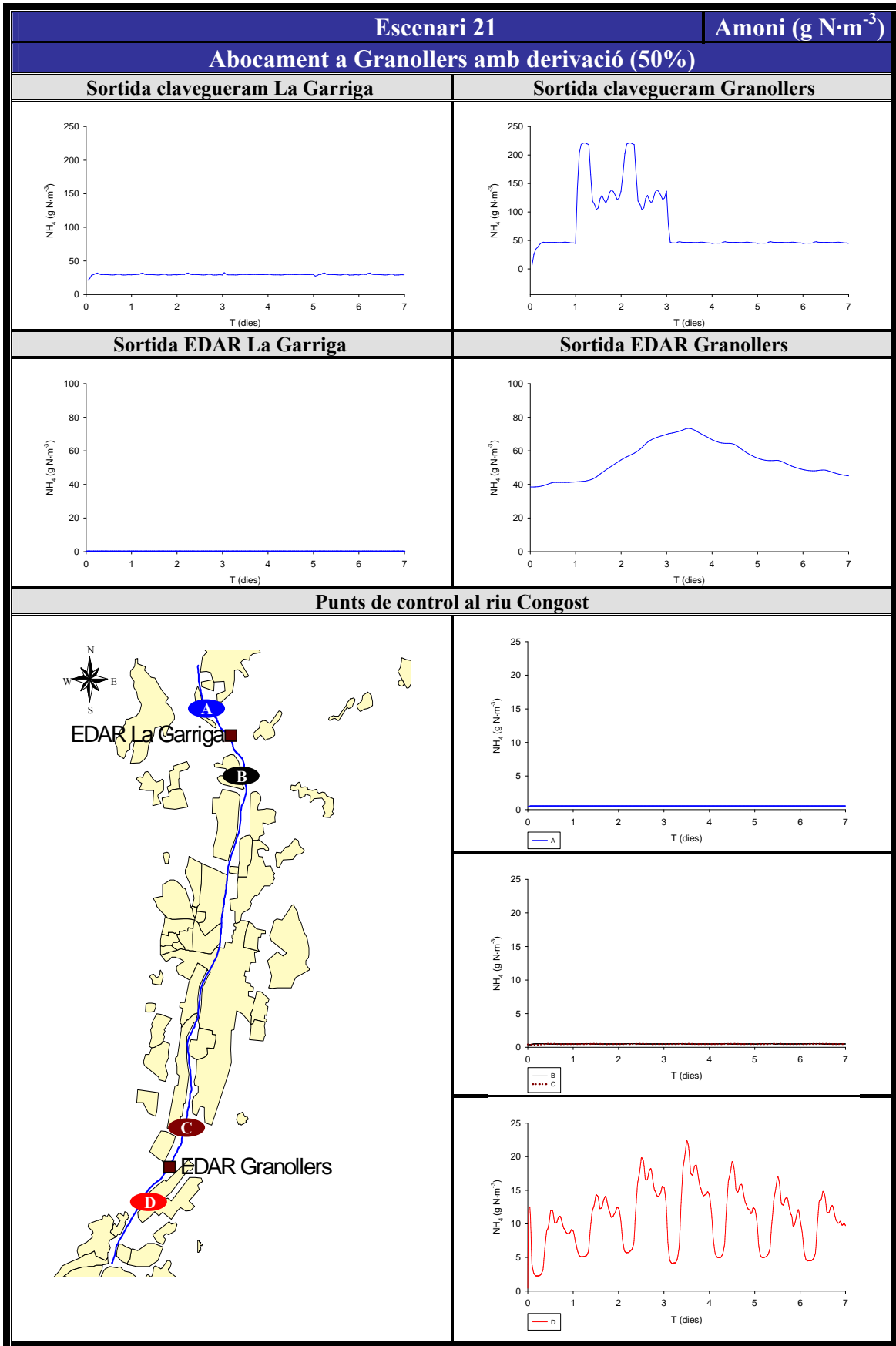
---

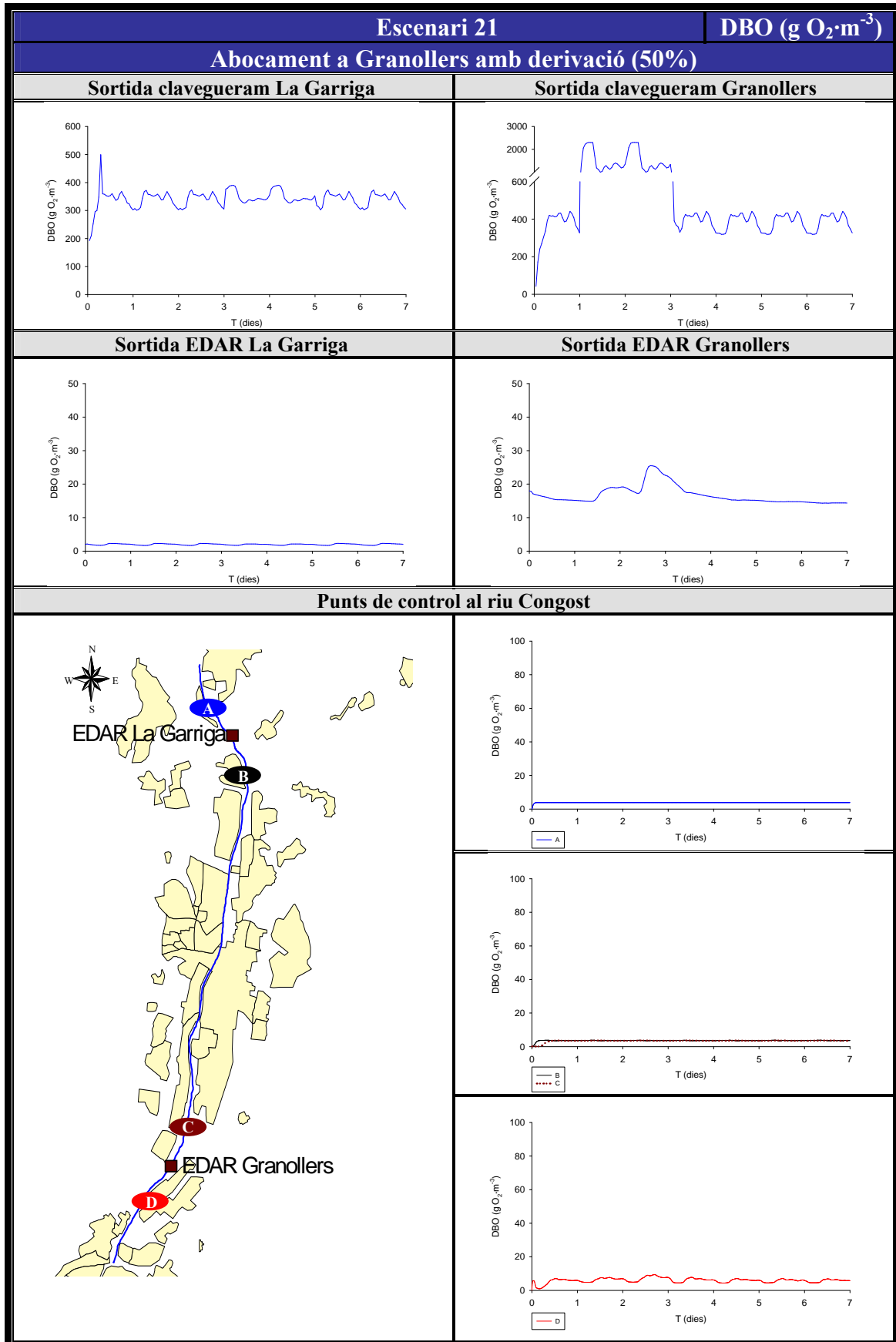
L'abocament té les mateixes característiques que el de l'escenari 11 a La Garriga, però en aquest cas, el cabal abocat per la indústria suposa al voltant del 10% del cabal d'entrada a l'EDAR, durant els dos dies que dura l'abocament.

Als resultats gràfics d'amoni i DBO es pot observar l'evolució de l'abocament al llarg dels subsistemes. Tot i que els valors d'amoni al tram D ja eren elevats en la situació de referència (escenari 1) a causa de la no nitrificació de l'EDAR Granollers, l'abocament provoca un augment mitjà proper al 80%, durant els dies 1 a 4, respecte a l'escenari 1. Pel que fa a la DBO l'increment mitjà està al voltant del 400%.

<b>Escenari 21</b>					
<b>Abocament a Granollers amb derivació (50%)</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2
	-			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03
	-			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000
	-			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850
-				MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			Granollers → Montornès: 50% del cabal d'entrada		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20850
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	705
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	76
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	619
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.4	
			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.9	
			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	0.55	
			MES (g·m <sup>-3</sup> )	28.5	
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		3959	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		9579
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.01	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		16.71
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.11	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		54.62
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.22	MES (g·m <sup>-3</sup> )		17.49
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









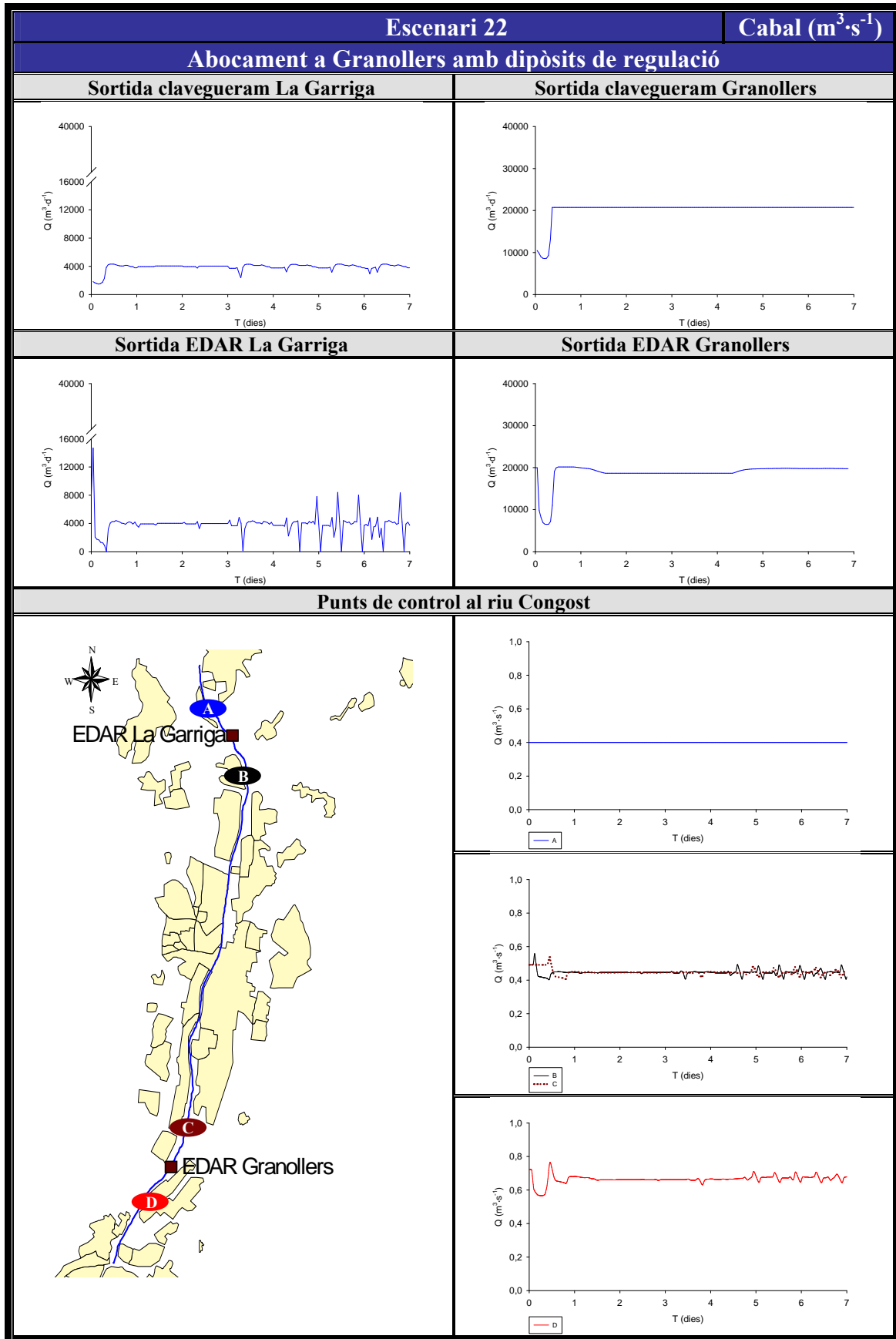
---

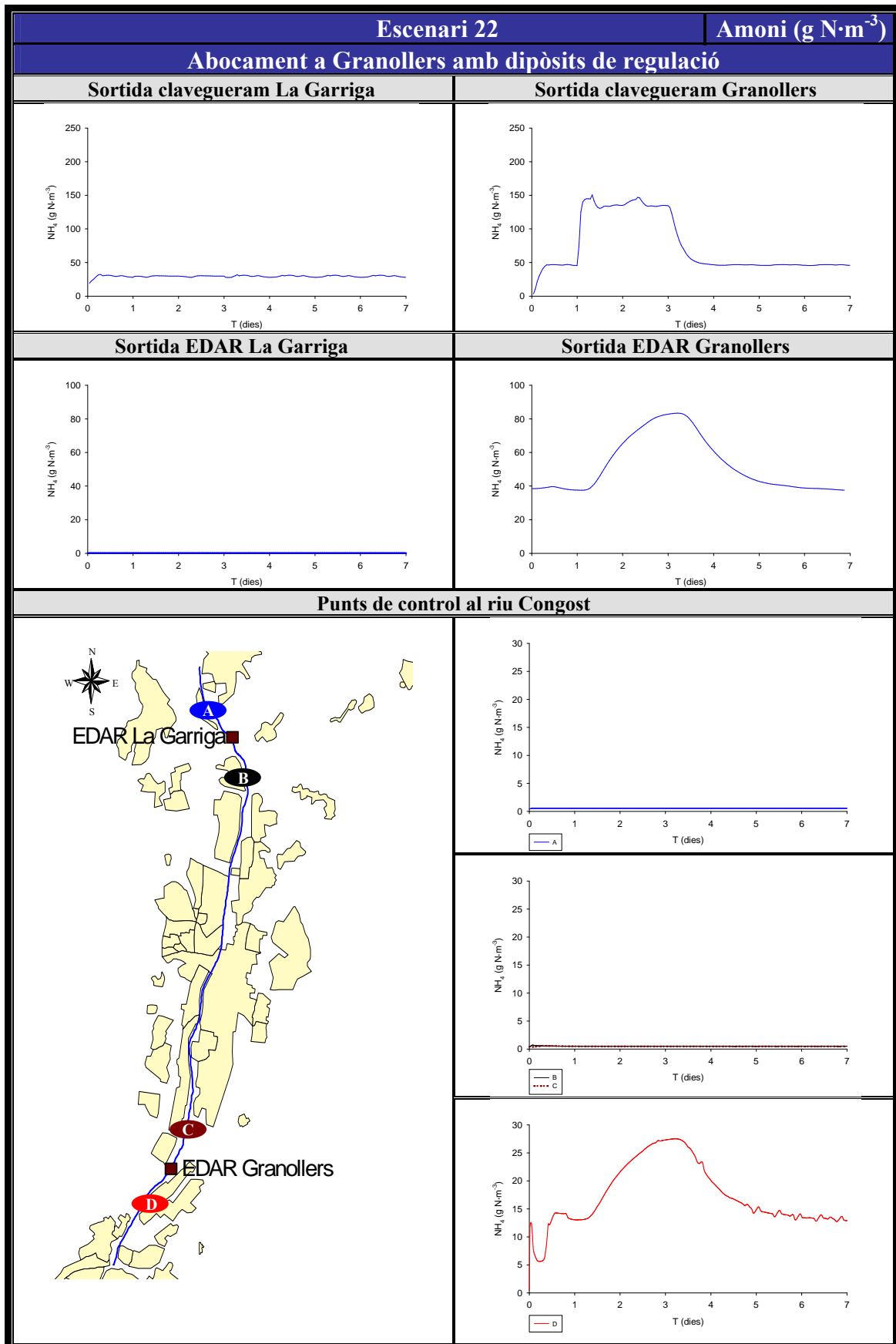
**Escenari 21: Abocament a Granollers amb derivació (50%)**

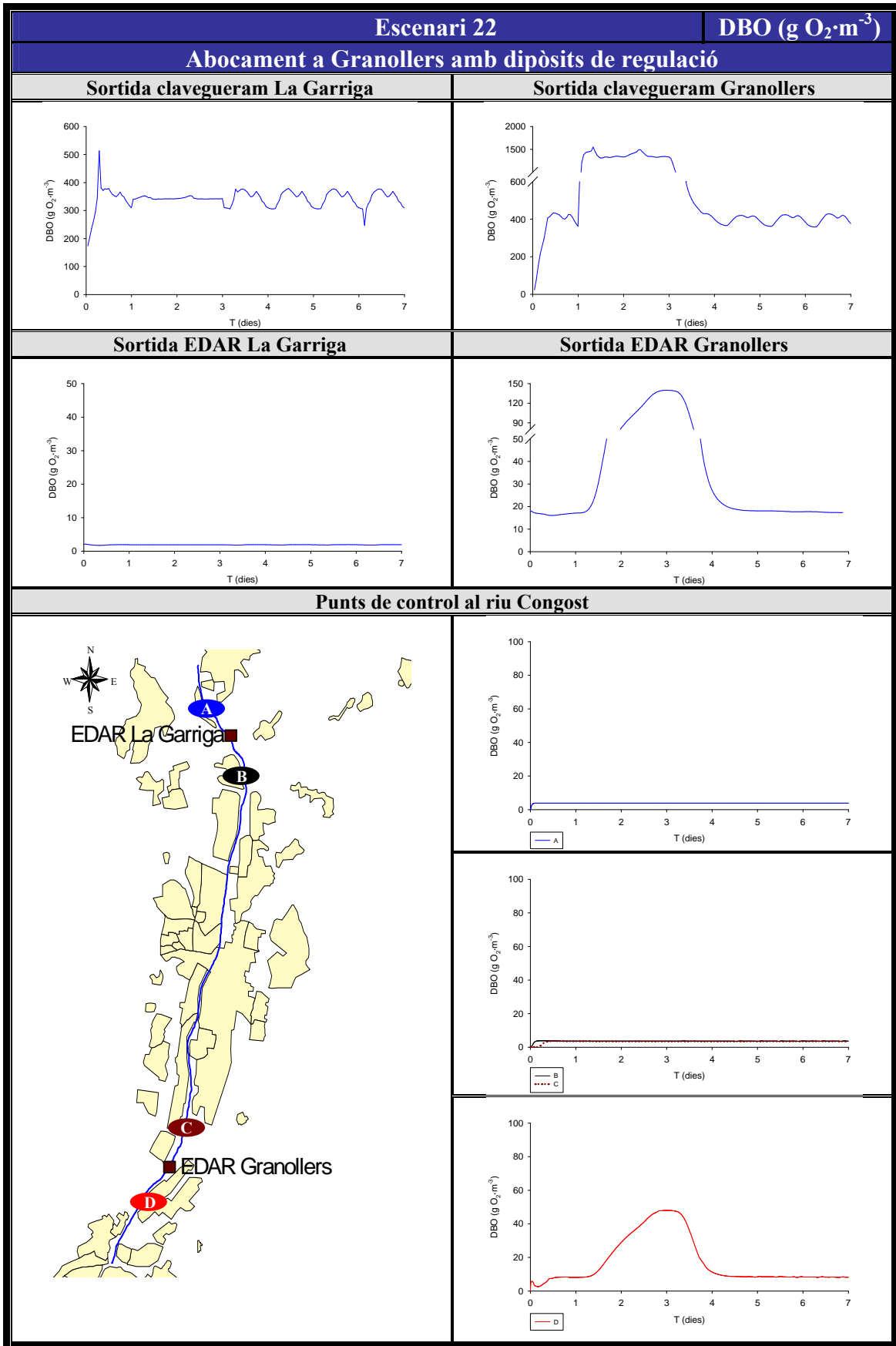
---

Comparant els resultats d'aquest escenari amb els de l'escenari 20, la derivació del 50% del cabal cap a Montornès, provoca una disminució de la concentració de DBO a l'efluent de l'EDAR Granollers, eliminant, quasi per complet, el pic provocat per l'abocament industrial. En canvi, pel que fa a l'amoni, sí que es produeix una suavització del pic provocat per l'abocament industrial però, donat que els rendiments d'eliminació d'amoni simulats a l'EDAR Granollers són molt baixos, no s'observa una disminució significativa de la concentració mitjana d'amoni al seu efluent, respecte a l'escenari 20. No obstant, quan aquest efluent arriba al riu Congost (al tram D), encara que s'observa un perfil de concentració, amb l'increment provocat per l'abocament, al haver-hi un cabal menor a diluir, la concentració mitjana d'amoni en aquest tram D ( $11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) és inferior a la de l'escenari 1 ( $13 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

<b>Escenari 22</b>					
<b>Abocament a Granollers amb dipòsits de regulació</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2
	-			Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03
	-			DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000
	-			NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850
-		MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000		
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3882	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20217
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	696
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	29		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	74
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	271		MES (g·m <sup>-3</sup> )	608
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		3856	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		18728
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		1.92	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		45.64
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.10	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		52.43
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.09	MES (g·m <sup>-3</sup> )		18.72
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







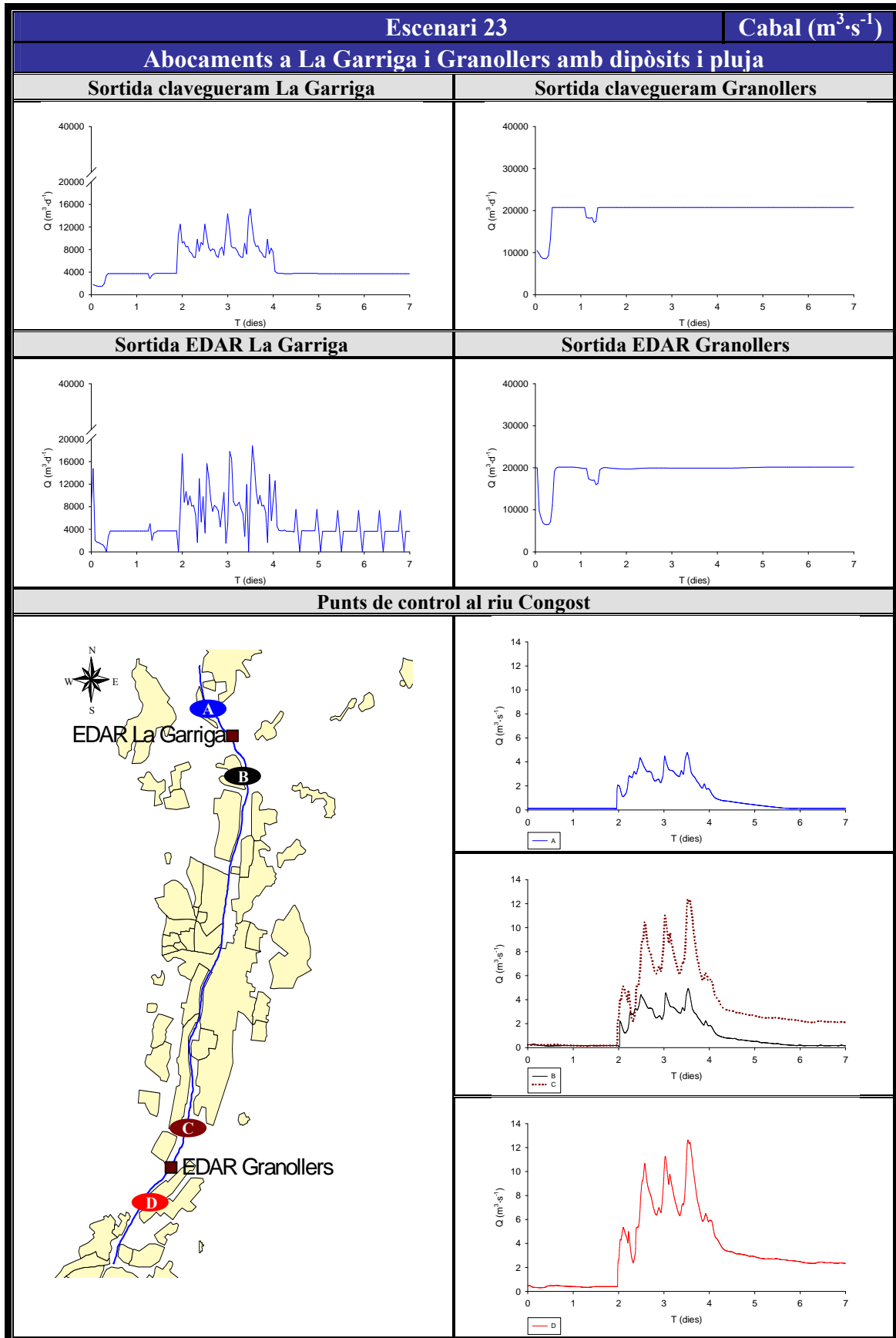
---

**Escenari 22: Abocament a Granollers amb dipòsits de regulació**

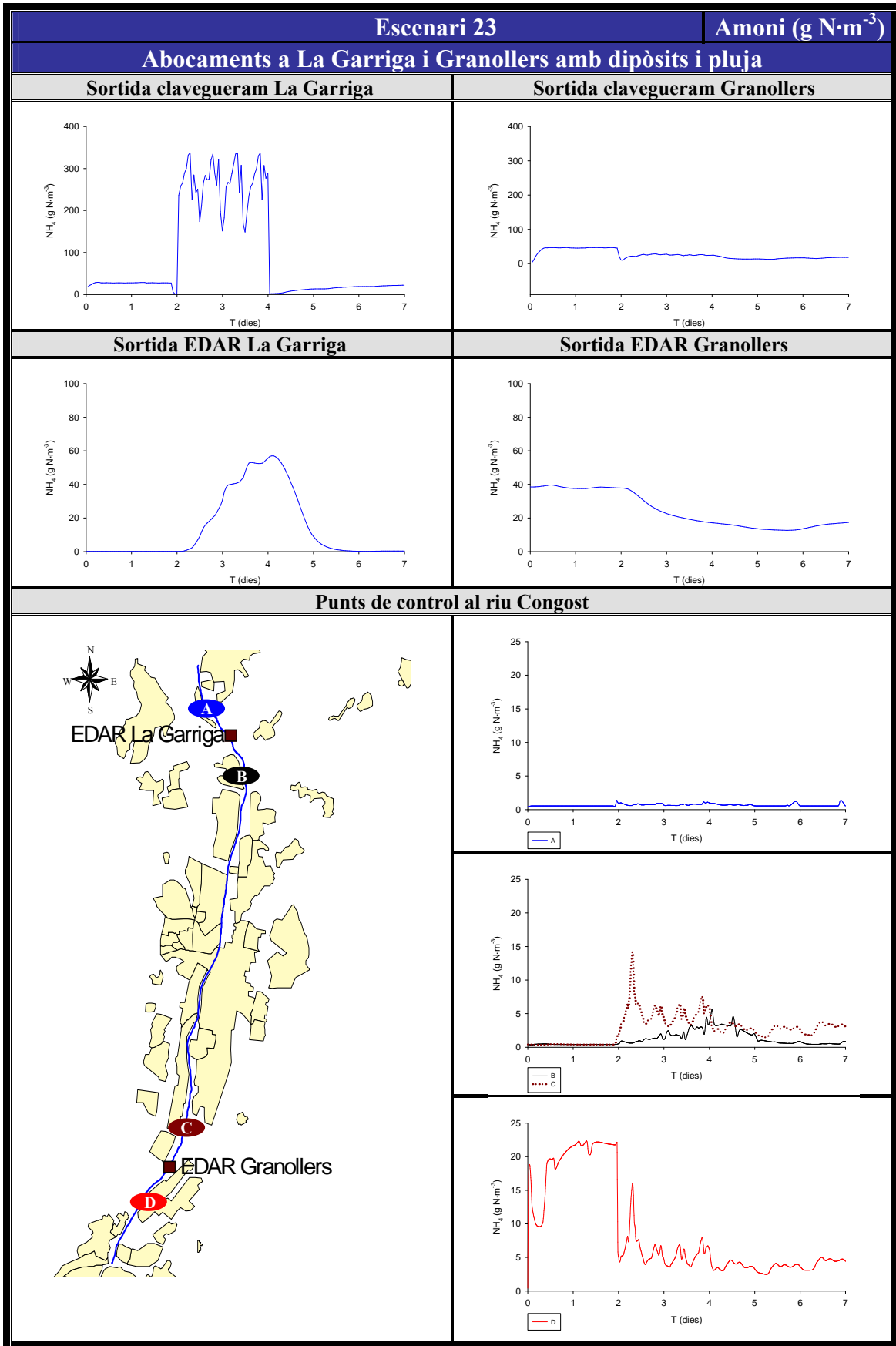
---

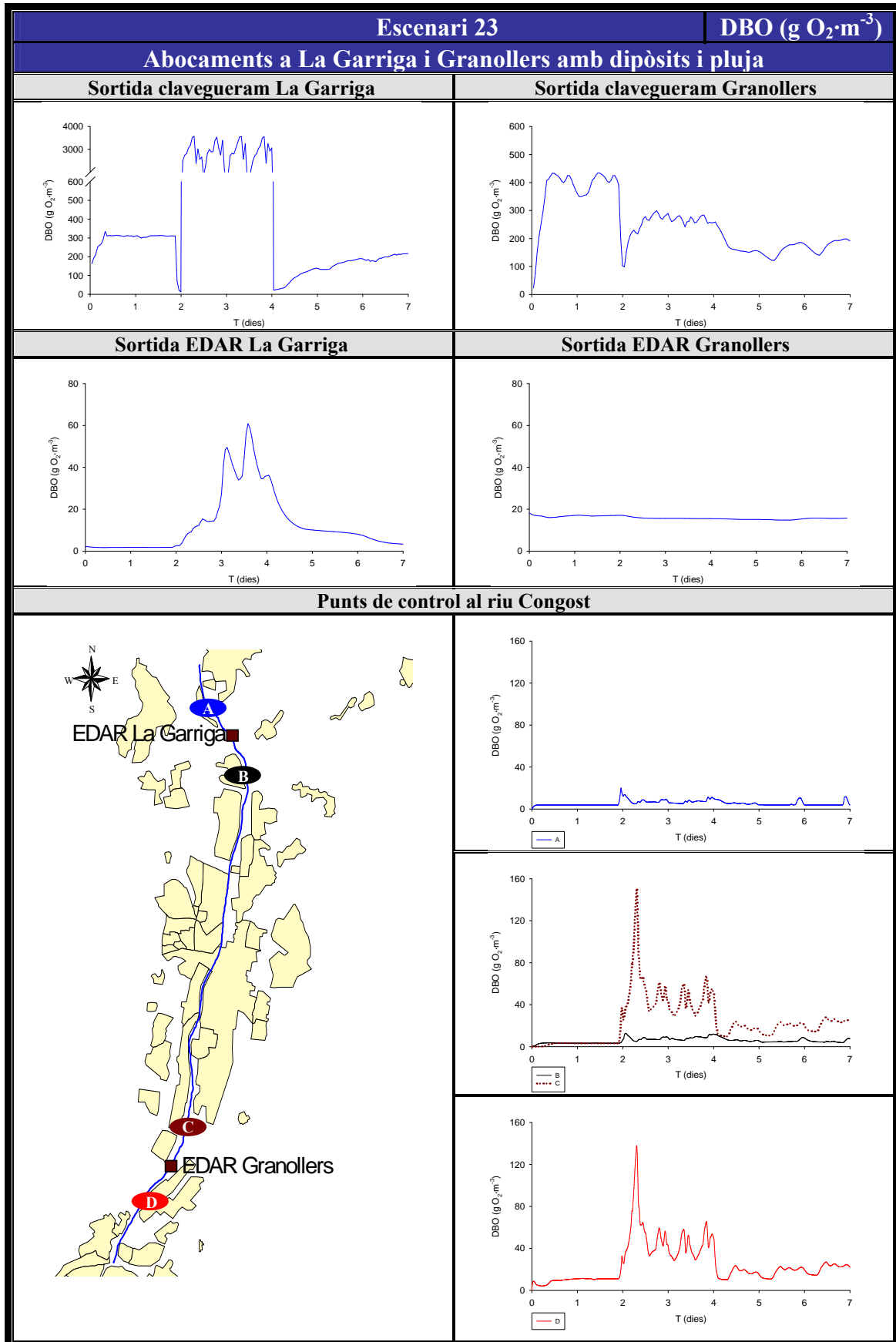
Es poden observar els efectes de laminació de cabal i càrrega. No obstant, la variació de la concentració mitjana d'amoni, en el tram D del riu Congost, respecte a la de l'escenari 20 (sense dipòsits), no és significativa. En canvi, l'efecte de laminació sí que produeix un increment en el rendiment d'eliminació de la DBO en l'EDAR Granollers, reduint la concentració mitjana a l'efluent entre els dies 1 i 4, respecte a l'escenari 20, en un 25%. Aquesta diferència és deguda a que l'EDAR Granollers no està eliminant amoni i, per tant, no existeix cap rendiment que pugui ser modificat pels dipòsits de laminació.

<b>Escenari 23</b>					
<b>Abocaments a La Garriga i Granollers amb dipòsits i pluja</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2	Abocaments industrials especials	Durada (dies)	2
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03		Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.03
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	850
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000		MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	182614		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	1303706	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	5170	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20122
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	949		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	250
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	90		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	26
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	1265		MES (g·m <sup>-3</sup> )	213
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	63		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.7		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		5220	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		19310
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		12.89	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		15.90
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		13.96	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		24.46
MES (g·m <sup>-3</sup> )		6.94	MES (g·m <sup>-3</sup> )		18.51
<b>Dades generals: pluja</b>					
Pluja total acumulada: 94 mm					









---

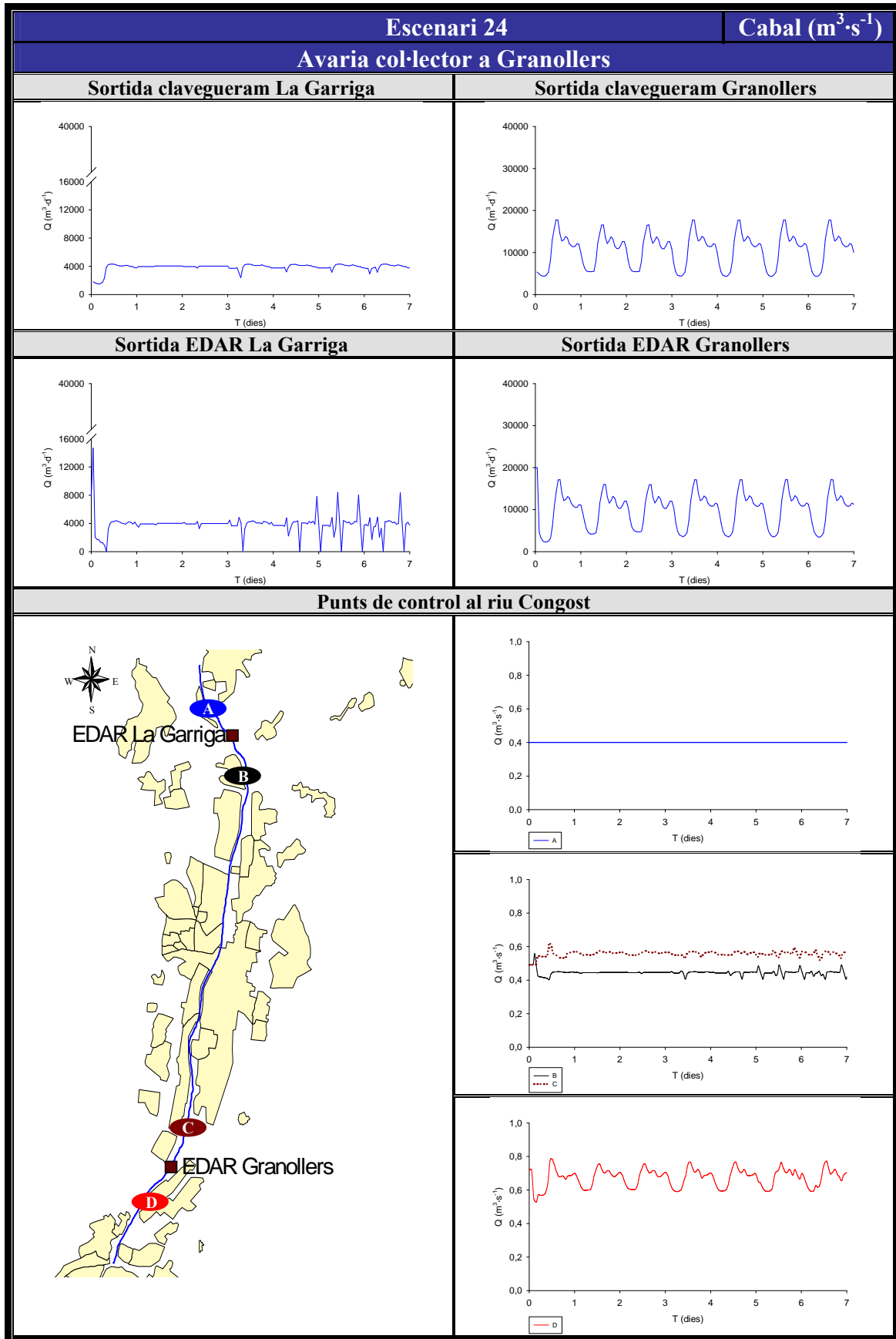
**Escenari 23: Abocaments a La Garriga i Granollers amb dipòsits i pluja**

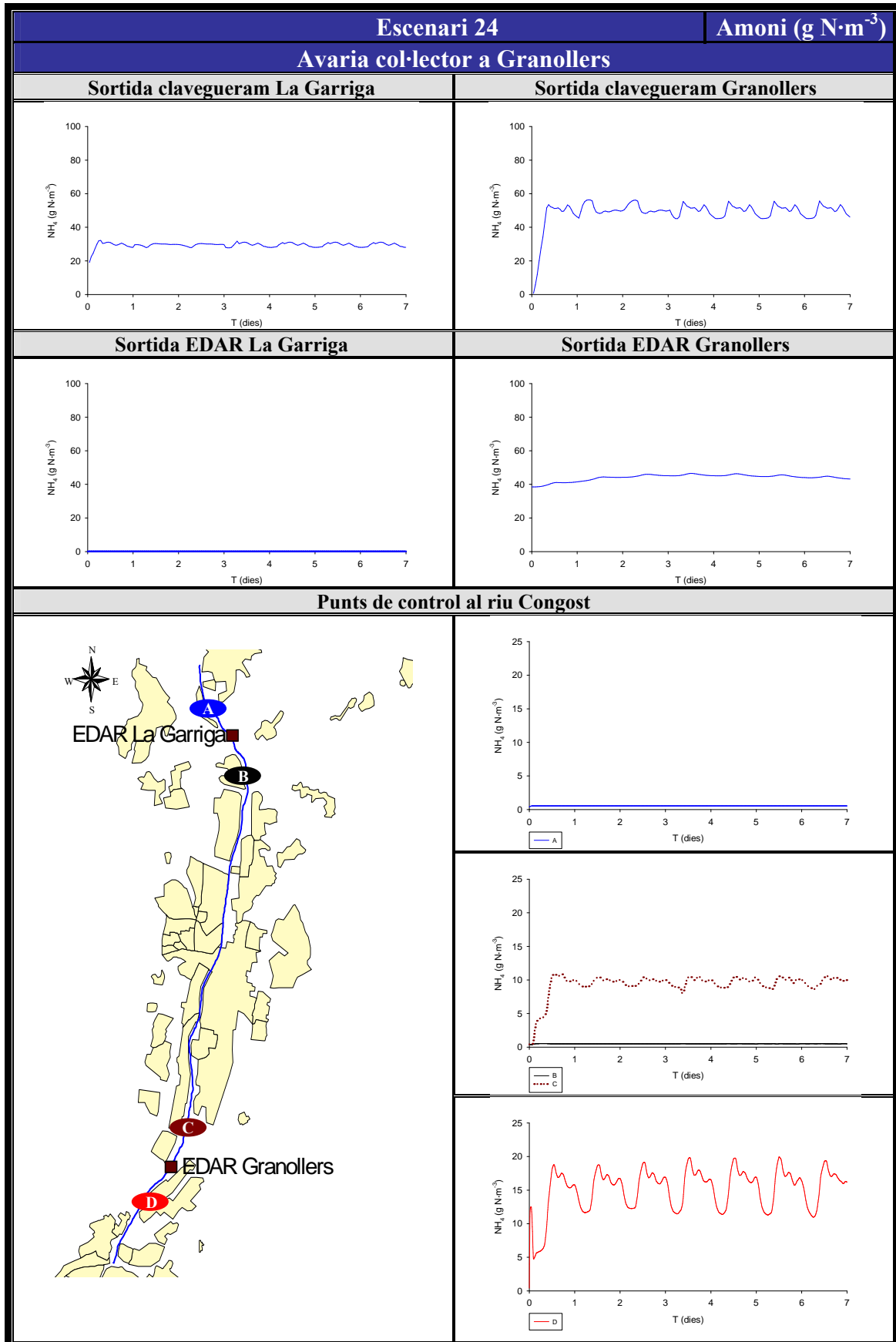
---

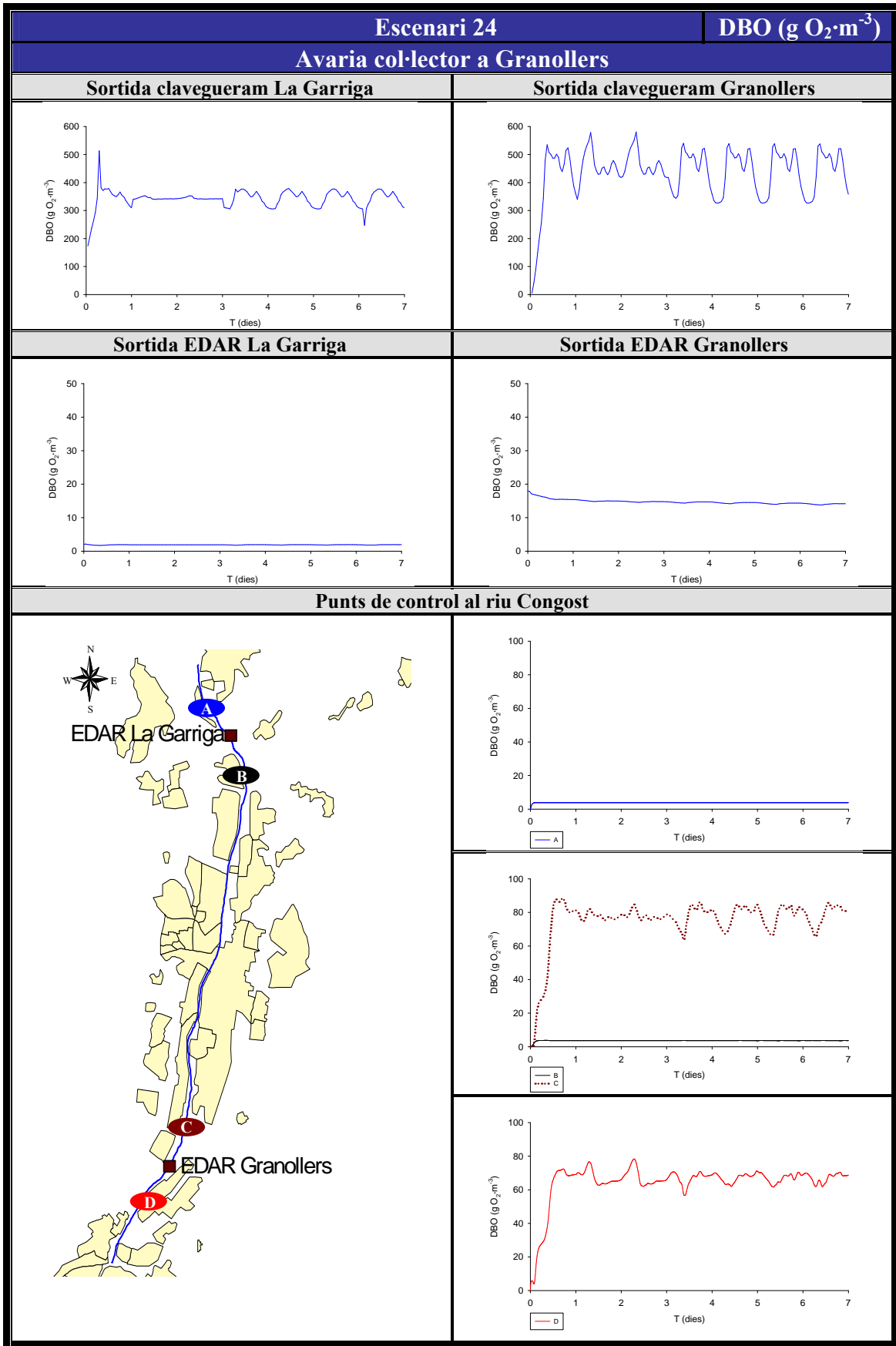
Els dipòsits d'aquesta situació estan dissenyats per laminar cabals en temps sec i tenen un cabal de descàrrega fix. En els cabals de sortida dels sistemes de clavegueram es pot apreciar el mateix efecte que en l'escenari 4, on a Granollers la capacitat dels dipòsits es veu superada per l'episodi de pluja i a La Garriga si que s'observa un augment en el cabal de sortida del clavegueram. Aquesta diferència es deu a que la capacitat dels dipòsits de regulació respecte a l'àrea d'escorrentia d'influència és superior a La Garriga. En els gràfics de cabal del riu Congost s'aprecia com entre els trams B i C l'actuació dels sobreexidors de Granollers és molt intensa.

En els resultats gràfics de les concentracions d'amoni i DBO als sistemes de clavegueram, es pot apreciar com a Granollers la major part de la càrrega contaminant de l'abocament no arriba a la sortida, sent evacuat pels sobreexidors prèviament. L'abocament de l'EDAR de La Garriga, que no pot assumir la càrrega que li arriba, i l'acció dels sobreexidors de Granollers eleven, considerablement, la concentració d'amoni i DBO als trams B-C-D, excepte per l'amoni al tram D, on l'abocament de l'EDAR Granollers provoca un efecte de dilució.

<b>Escenari 24</b>					
<b>Avaria col·lector a Granollers</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	Avaria d'un col·lector a la part mitja/alta del sistema de clavegueram	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	68000	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3882	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	10670
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	438
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	29		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	49
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	271		MES (g·m <sup>-3</sup> )	290
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		3856	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		10056
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		1.92	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		14.75
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.10	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		44.11
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.09	MES (g·m <sup>-3</sup> )		17.49
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







---

**Escenari 24: Avaria col·lector a Granollers**

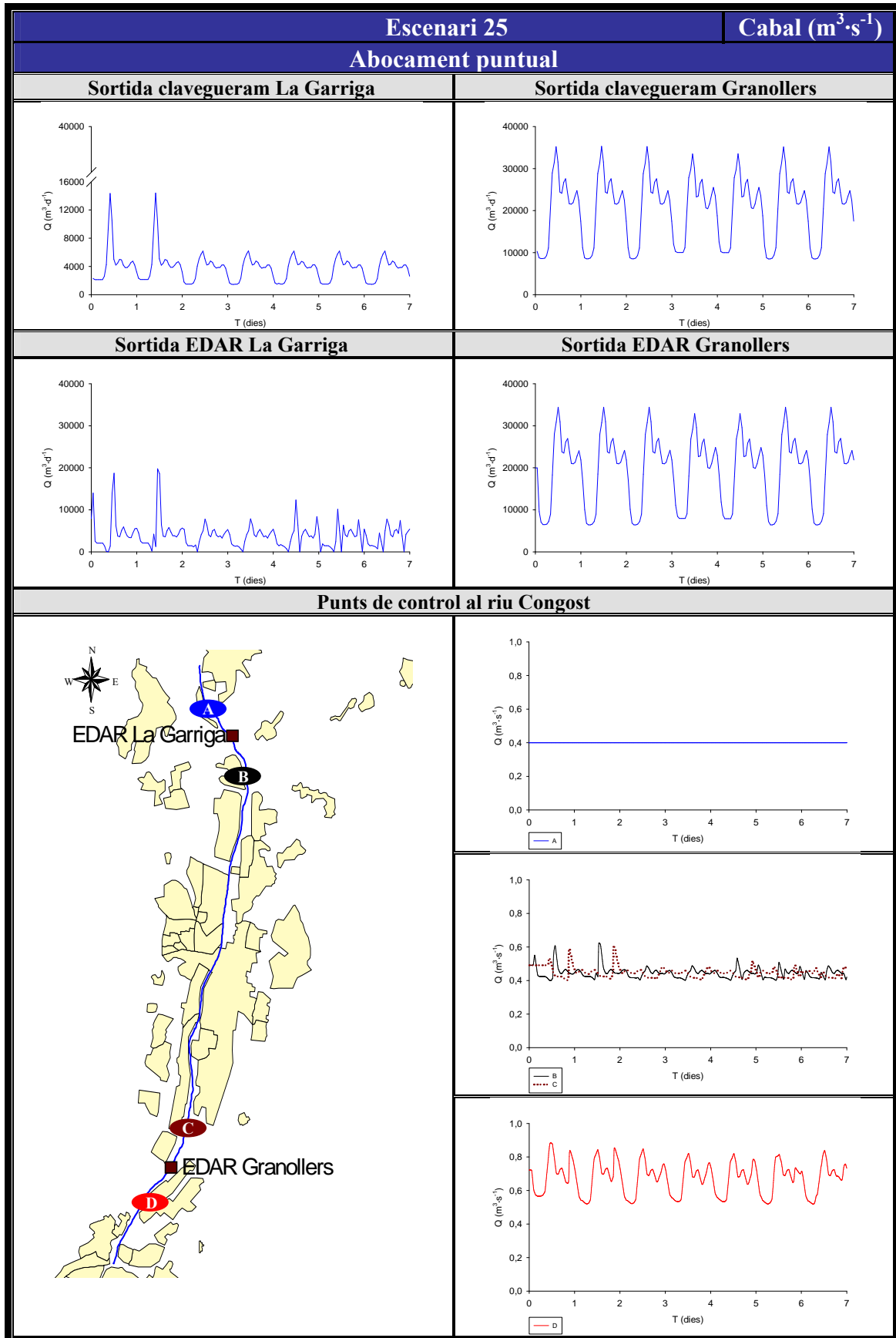
---

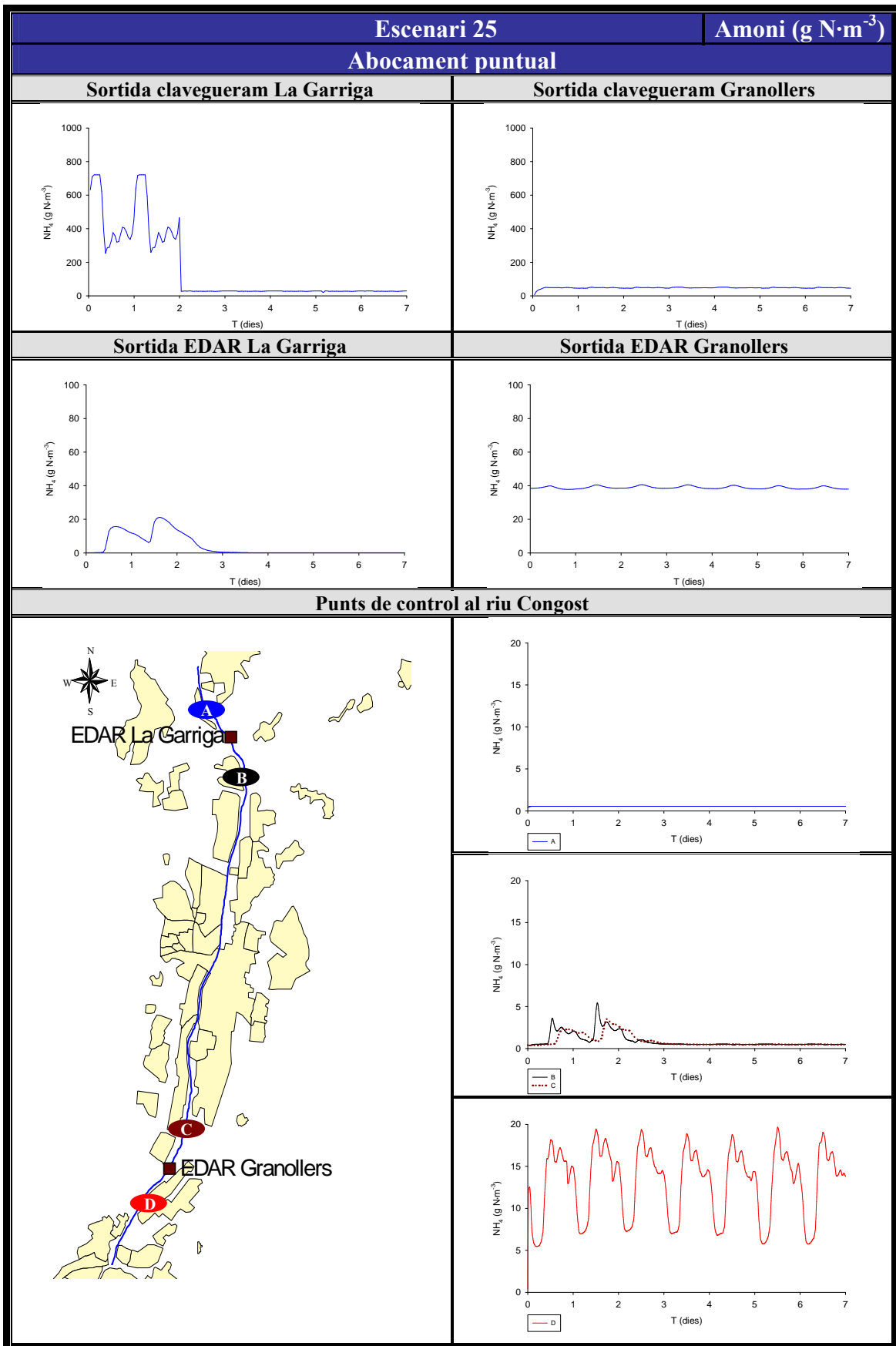
L'avaría d'un dels col·lectors de Granollers, impedeix el pas de l'aigua residual. Aquest fet provoca l'actuació dels sobreexidors de més a la vora, abocant al riu Congost un volum total de 68000 m<sup>3</sup>.

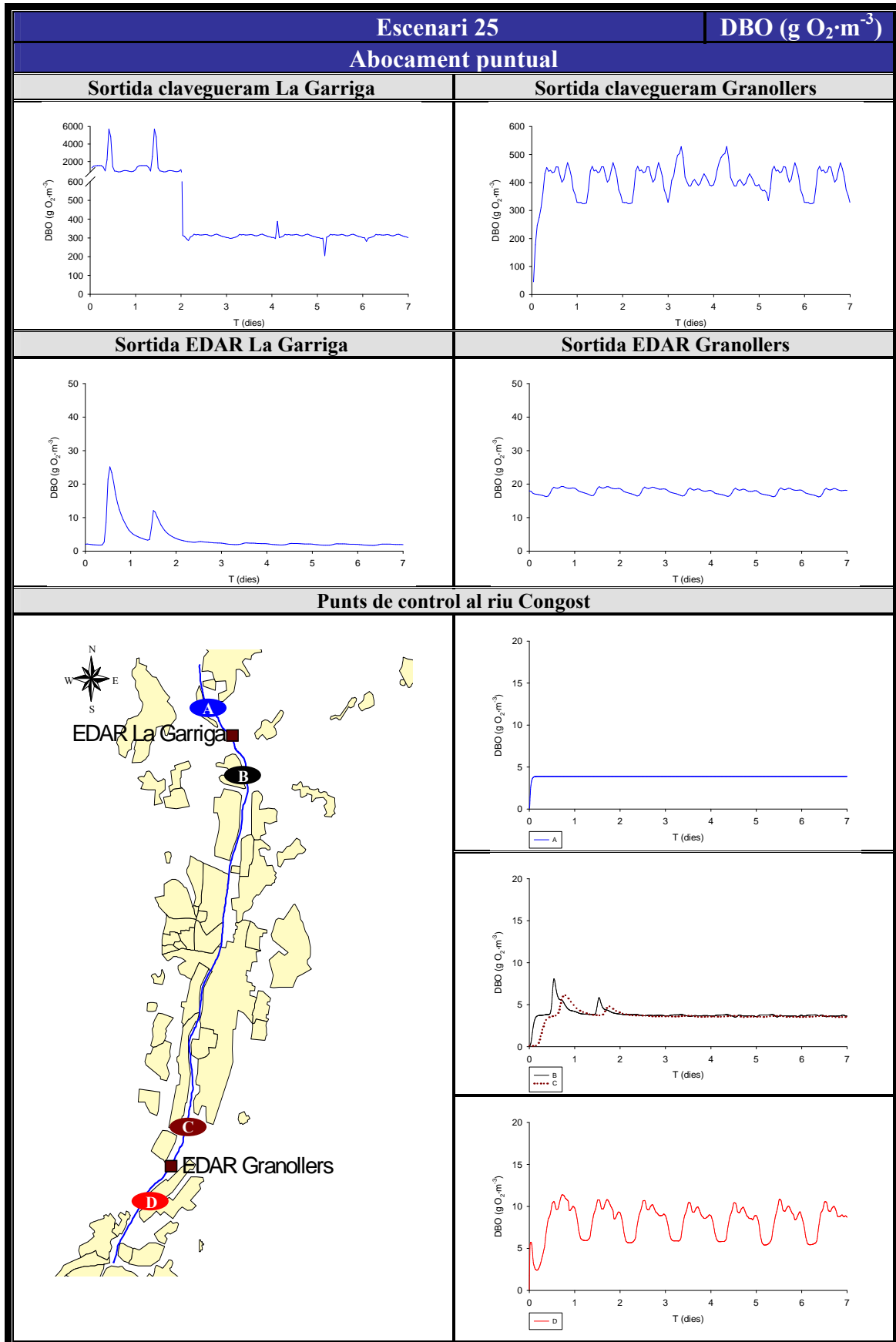
Si es comparen els resultats amb els de l'escenari 3, que té les mateixes condicions que aquest, excepte per l'avaría del col·lector, es pot apreciar l'augment de cabal al tram C del riu Congost, provocat per l'abocament dels sobreexidors. Aquest augment es tradueix en un increment en la concentració mitjana d'amoni i DBO al tram C, al voltant del 1800% i del 2100%, respectivament.



<b>Escenari 25</b>					
<b>Abocament puntual</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (hores)	4	Abocaments industrials especials		-
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.1			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	290			
MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000				
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3871	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	657		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	149		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	805		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	3101		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3947		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19543	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.65		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.84	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	3.95		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	38.92	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.42		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.06	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







---

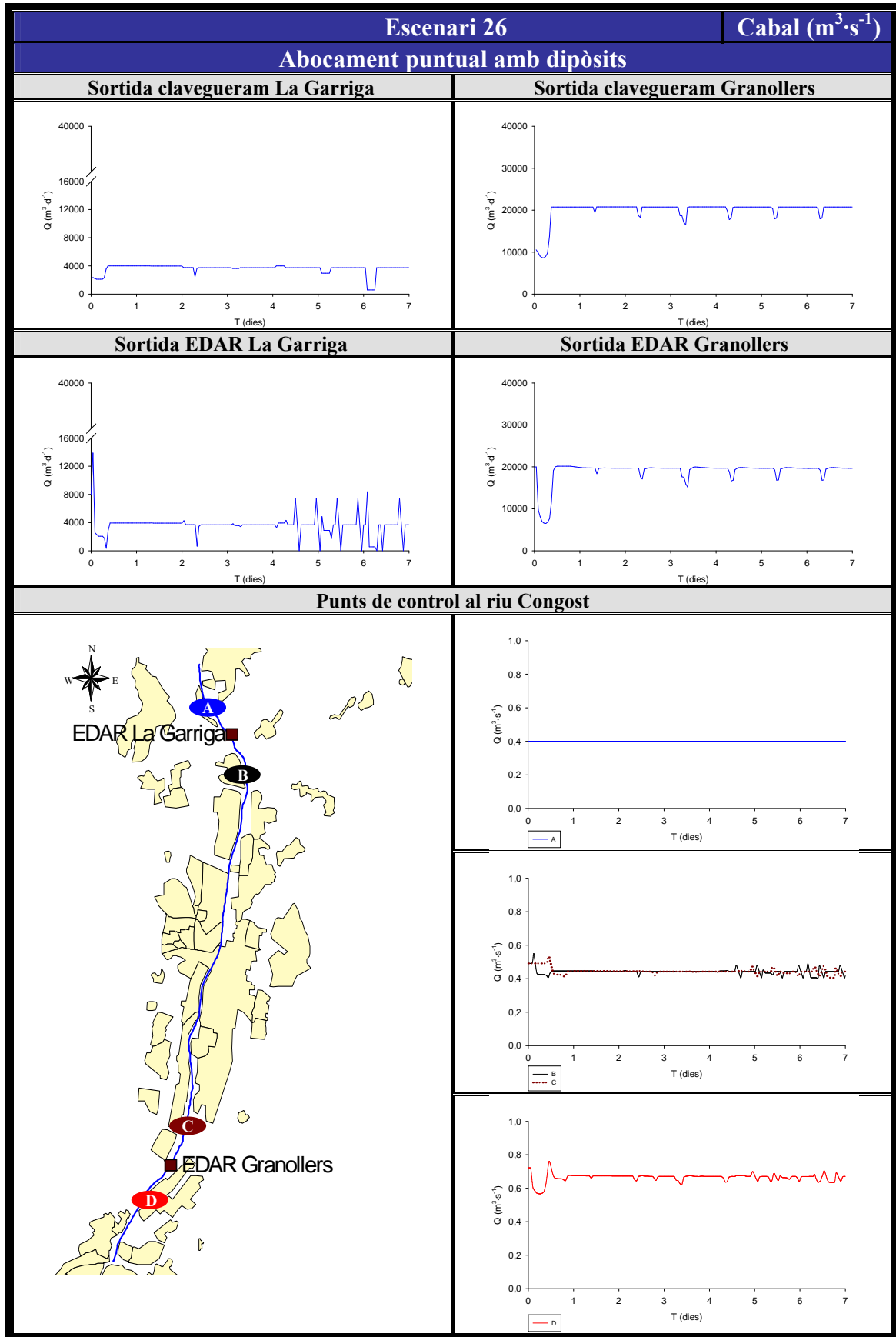
**Escenari 25: Abocament puntual**

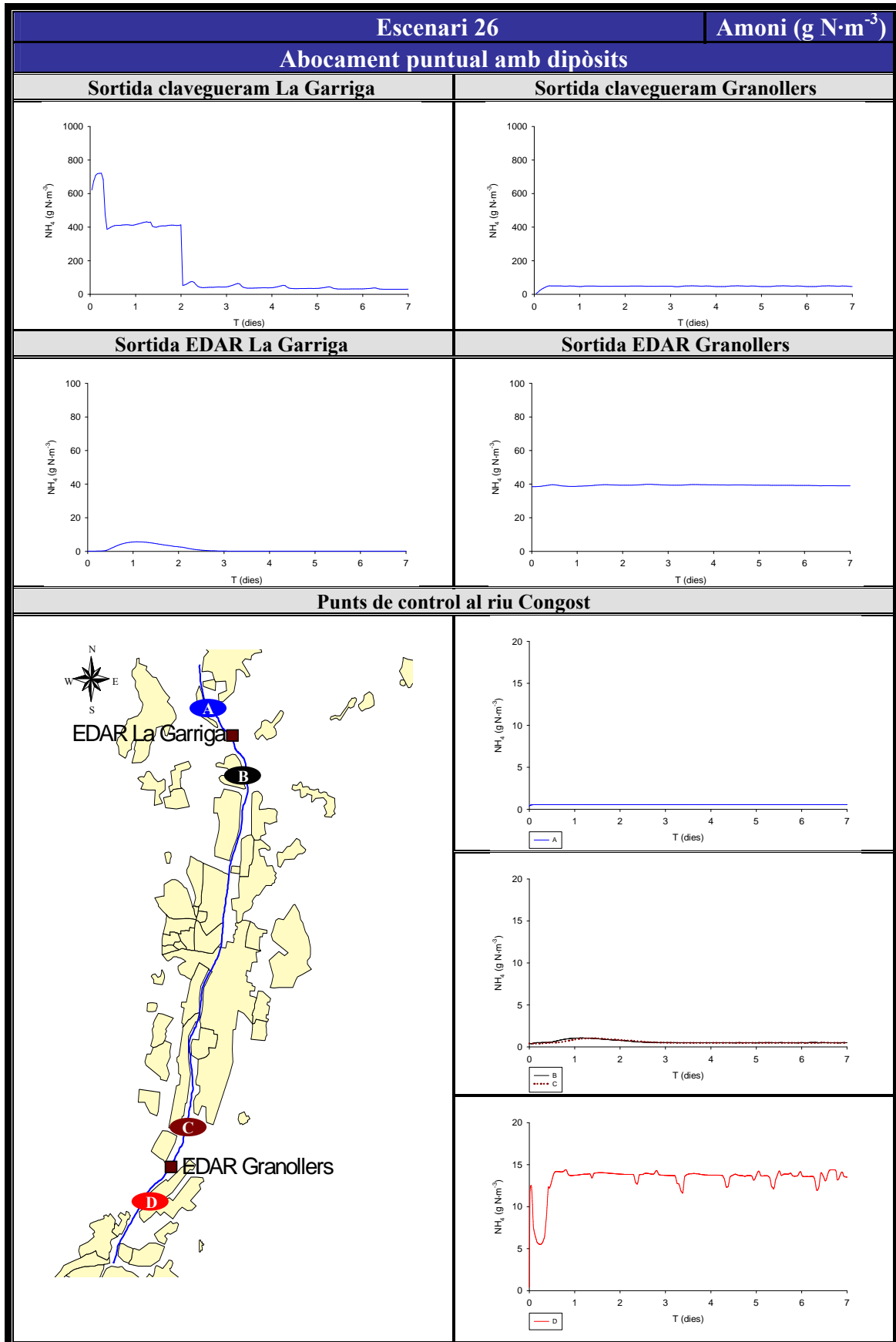
---

El cabal industrial representa, durant els dos períodes de dues hores de l'episodi, un 200% respecte al cabal mitjà d'entrada a l'EDAR de La Garriga.

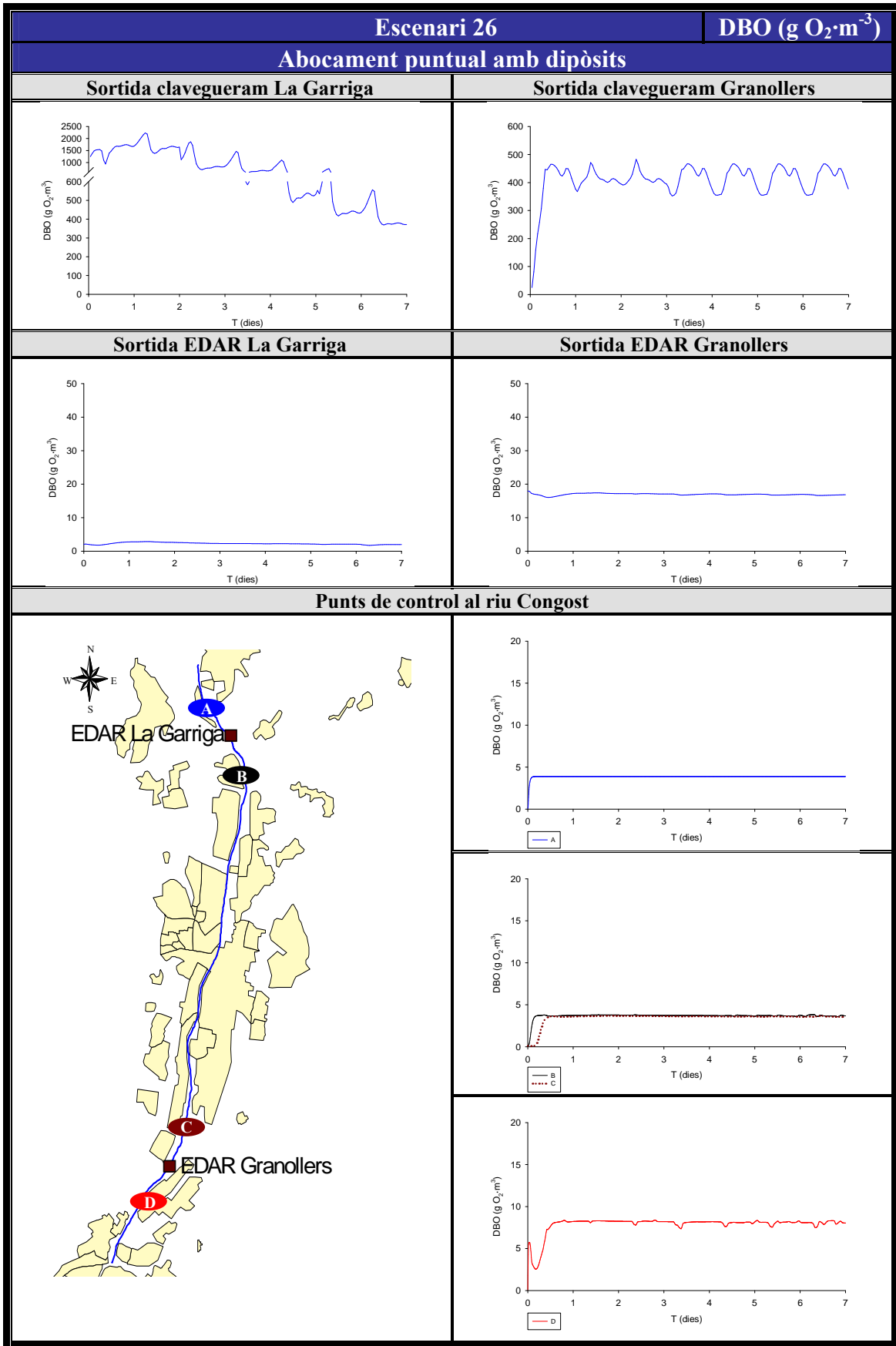
L'abocament, després de passar per l'EDAR, incrementa la concentració d'amoni en els trams B-C per sobre el valor de referència ( $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) i aquests trams triguen una mica més d'un dia, després de l'abocament, en recuperar els valors normals. Un efecte semblant es dona en la DBO.

<b>Escenari 26</b>					
<b>Abocament puntual amb dipòsits</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (hores)	4	Abocaments industrials especials	-	
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.1			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	290			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000			
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3605	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20026
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	952		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	410
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	158		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	47
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	732		MES (g·m <sup>-3</sup> )	317
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		3622	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		18962
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.27	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		16.96
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		1.13	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		39.33
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.06	MES (g·m <sup>-3</sup> )		18.55
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









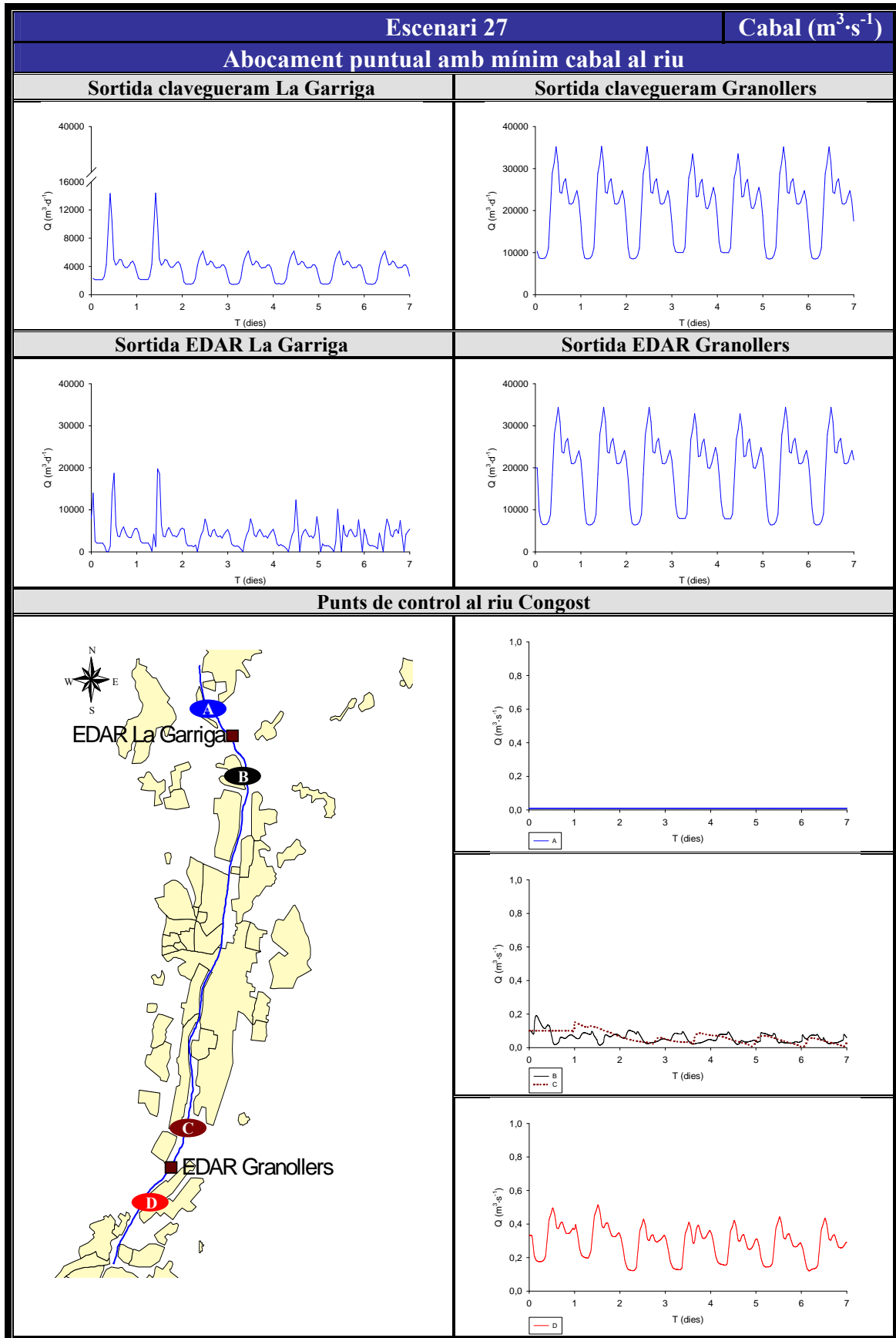
---

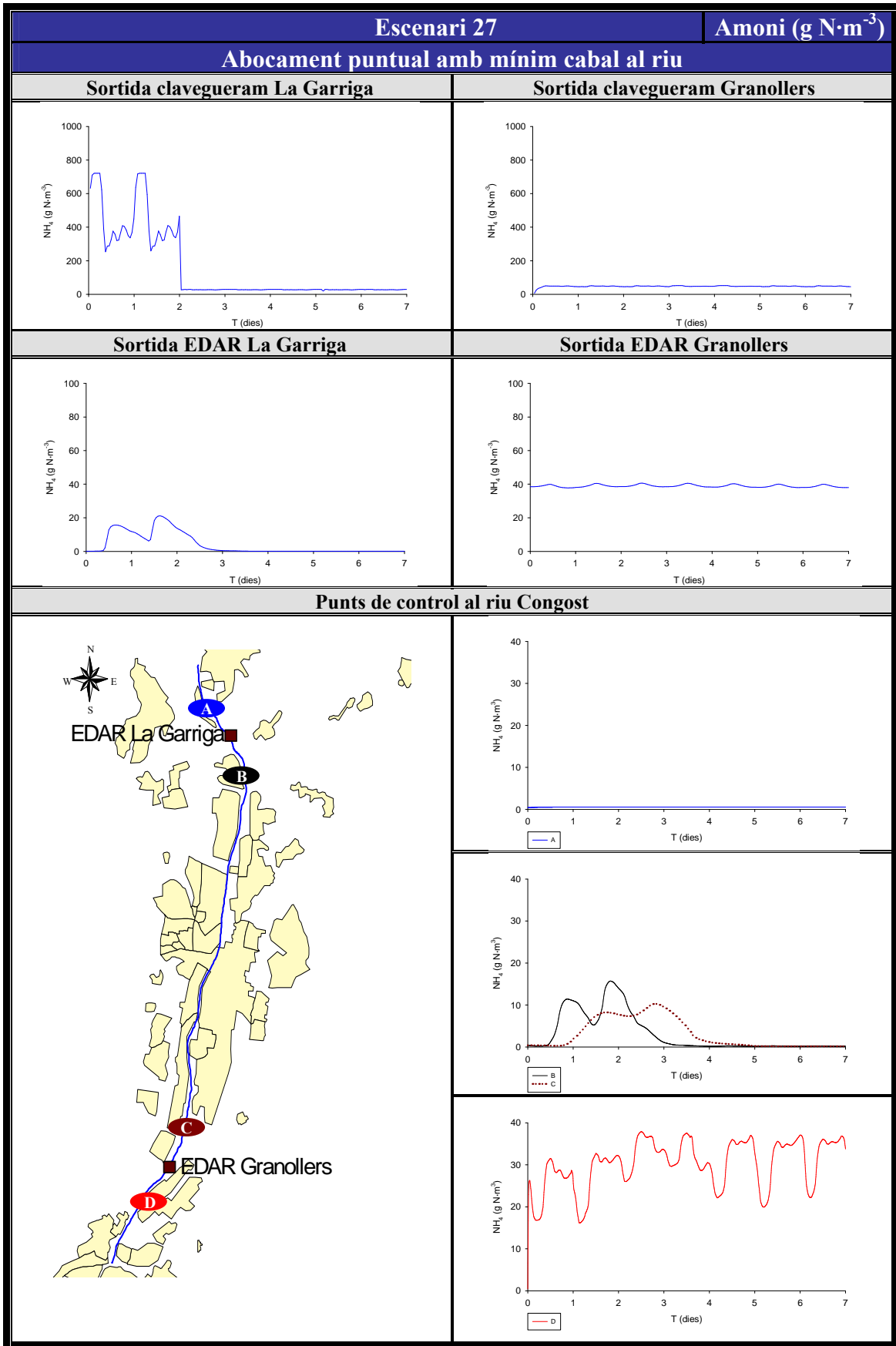
**Escenari 26: Abocament puntual amb dipòsits**

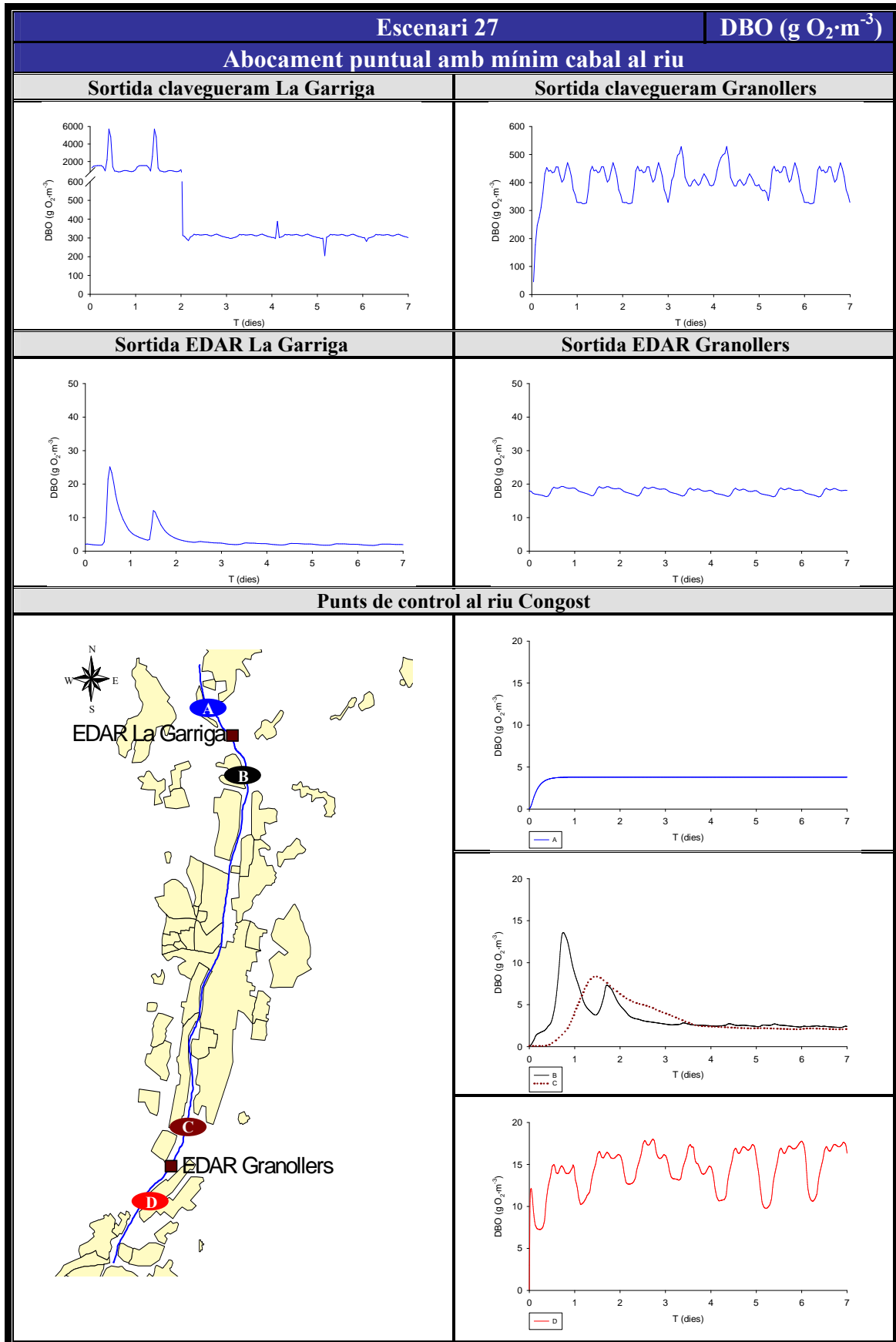
---

En aquesta situació l'efecte de laminació sobre la càrrega contaminant sí que té resposta, amb una millora del rendiment d'eliminació de l'EDAR de La Garriga, disminuint la concentració d'amoni i DBO a l'efluent de l'EDAR, fins al tercer dia de simulació, en un 90% i un 82%, respectivament. Aquestes reduccions impliquen una millora considerable de la situació en el riu respecte a l'escenari 25, aconseguint que en els trams B-C, només es fregui lleugerament el límit màxim de referència per l'amoni.

<b>Escenari 27</b>					
<b>Abocament puntual amb mínim cabal al riu</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (hores)	4	Abocaments industrials especials		-
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.1			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	290			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000			
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3871	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	657		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	149		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	805		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	3101		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.01		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3947		Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	19543	
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	3.65		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	17.84	
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	3.95		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	38.92	
MES (g·m <sup>-3</sup> )	4.42		MES (g·m <sup>-3</sup> )	19.06	
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					







---

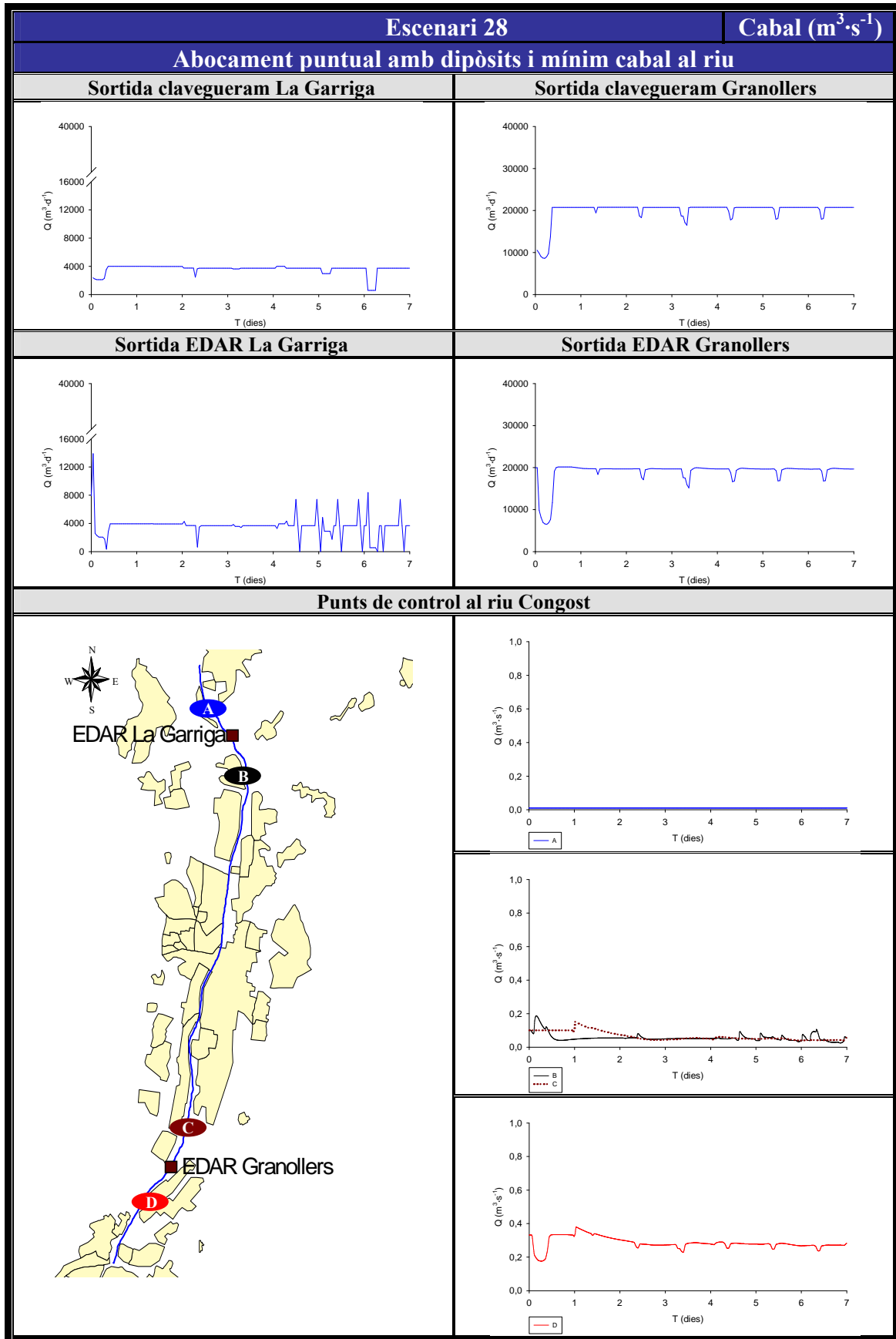
**Escenari 27: Abocament puntual amb mínim cabal al riu**

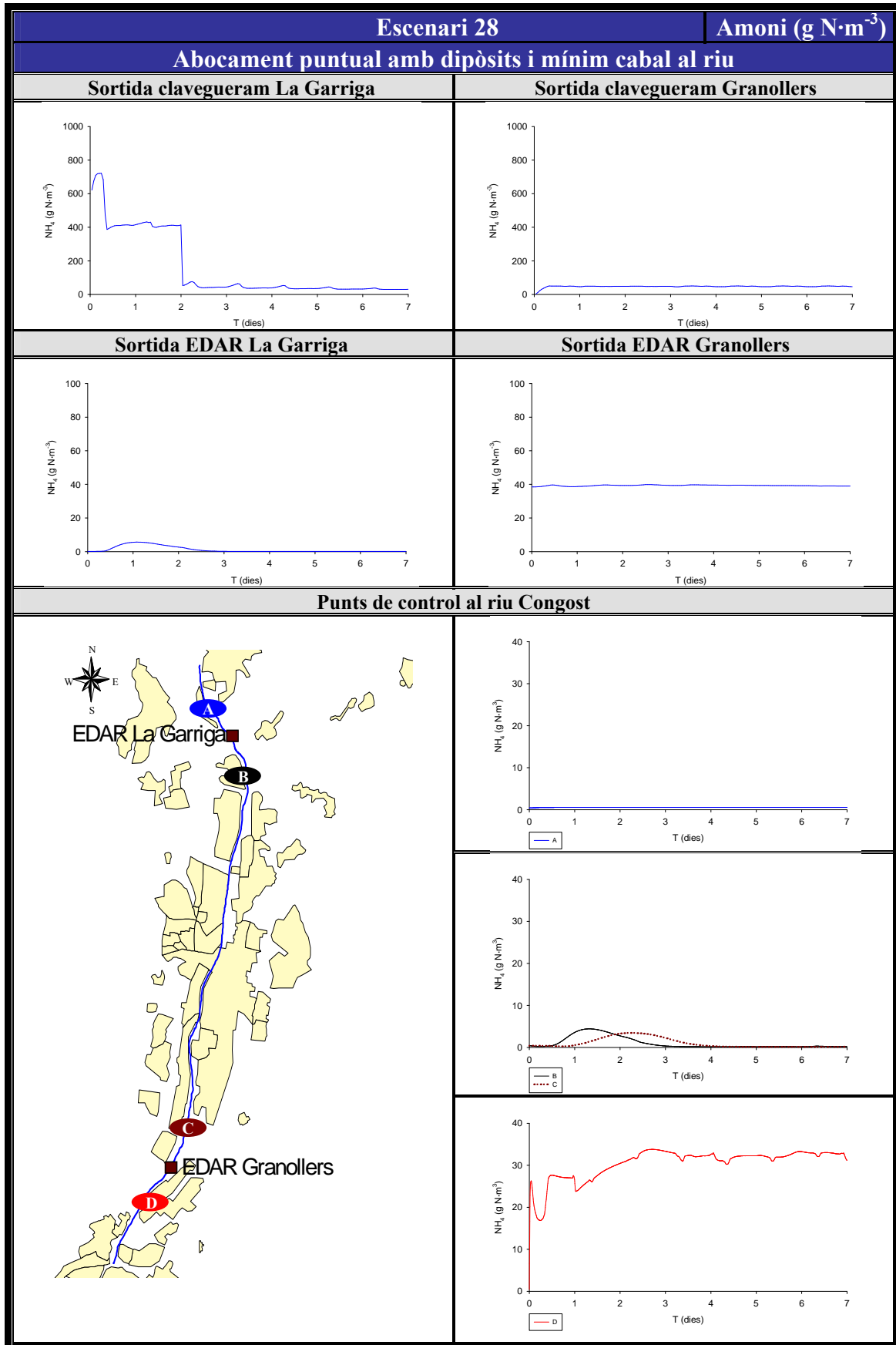
---

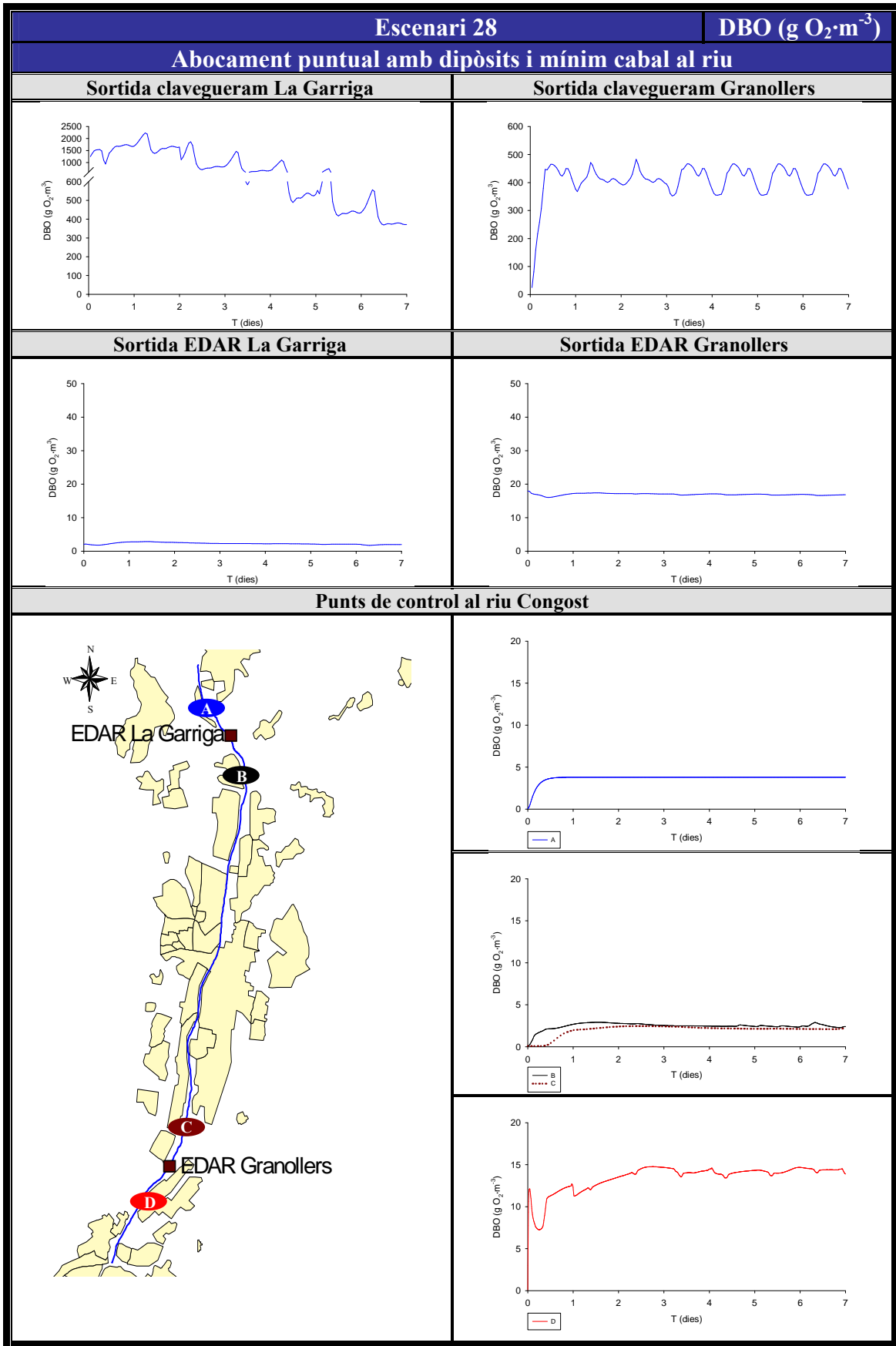
El menor potencial de dilució del riu, en aquestes condicions, fa augmentar la concentració d'amoni en tots els trams del riu. En el tram C, l'efecte de l'abocament (valor mitjà durant els 4 primer dies) es veu augmentat en un 300%, respecte a l'escenari 25 (mateixa situació però amb cabal normal al riu). Un efecte molt menys intens es dona amb la DBO, amb un augment del 12%.

<b>Escenari 28</b>					
<b>Abocament puntual amb dipòsits i mínim cabal al riu</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
<b>Model La Garriga</b>			<b>Model Granollers</b>		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	Durada (hores)	4	Abocaments industrials especials	-	
	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.1			
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	9000			
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	290			
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	10000			
Dipòsits de regulació	3 dipòsits amb una capacitat total de 7000 m <sup>3</sup>		Dipòsits de regulació	4 dipòsits amb una capacitat total de 33000 m <sup>3</sup>	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			-		
<b>Model La Garriga</b>			<b>Model Granollers</b>		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3605	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20026
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	952		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	410
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	158		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	47
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	732		MES (g·m <sup>-3</sup> )	317
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.01		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		3622	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		18962
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		2.27	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		16.96
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		1.13	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		39.33
MES (g·m <sup>-3</sup> )		4.06	MES (g·m <sup>-3</sup> )		18.55
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









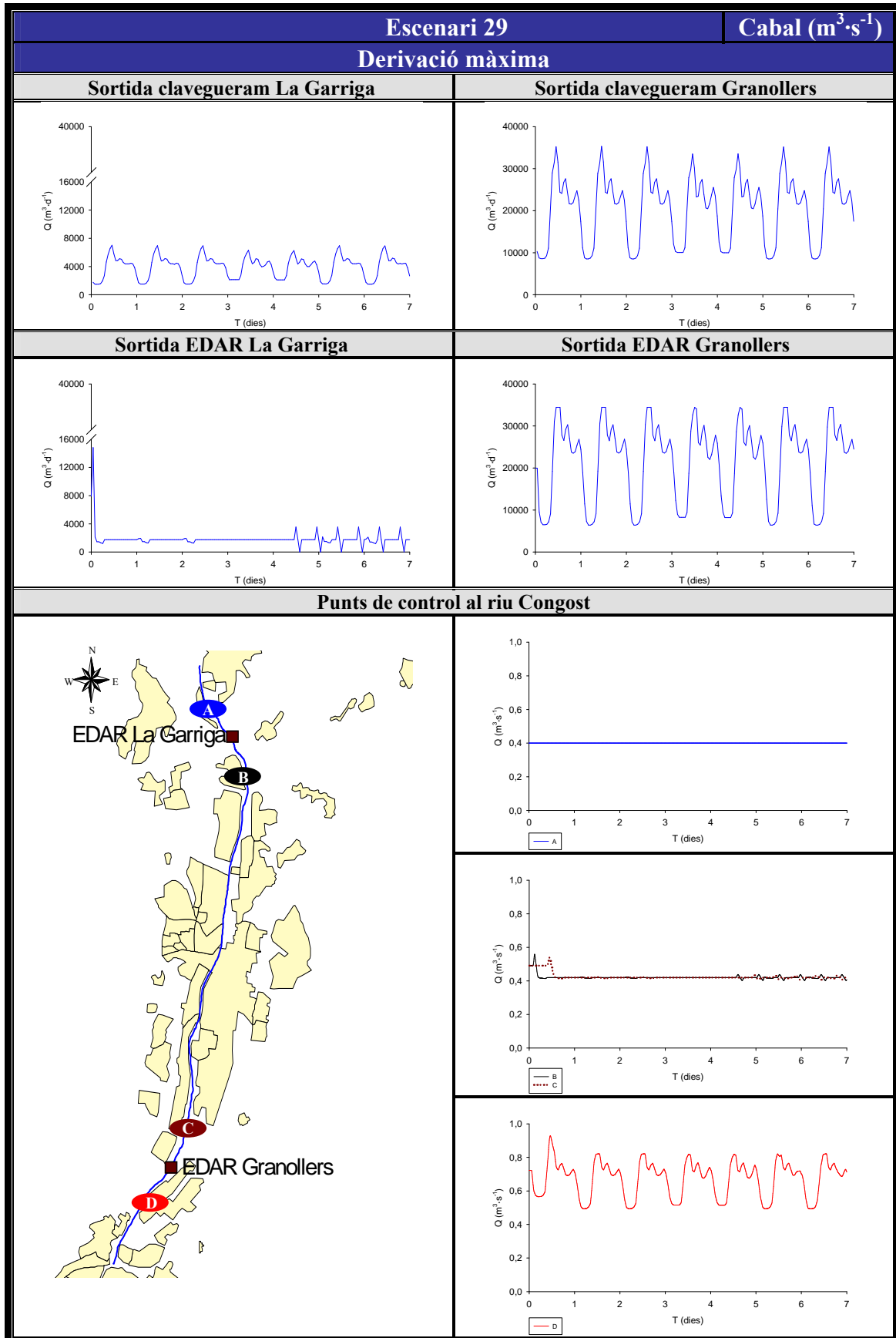
---

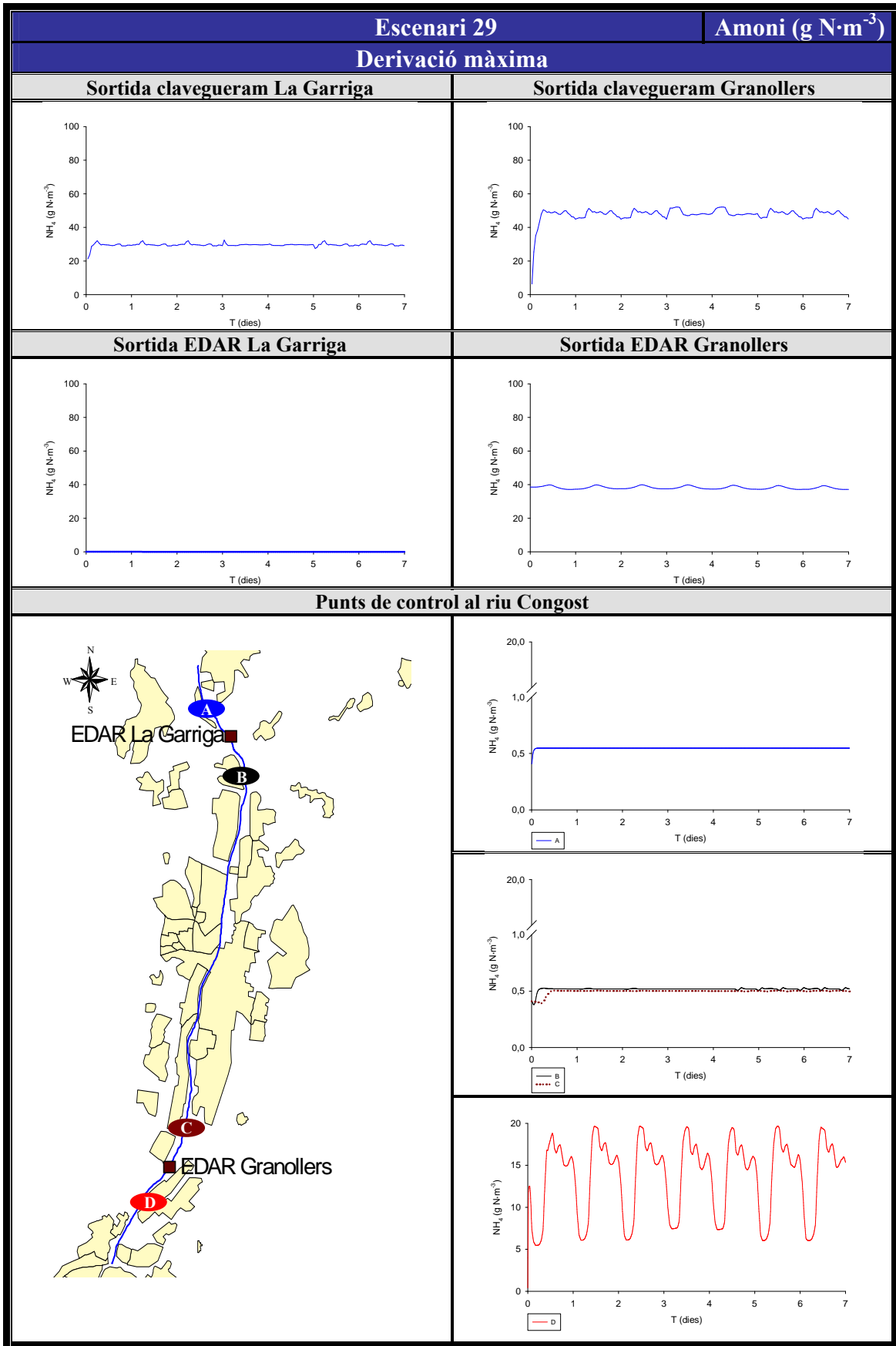
**Escenari 28: Abocament puntual amb dipòsits i mínim cabal al riu**

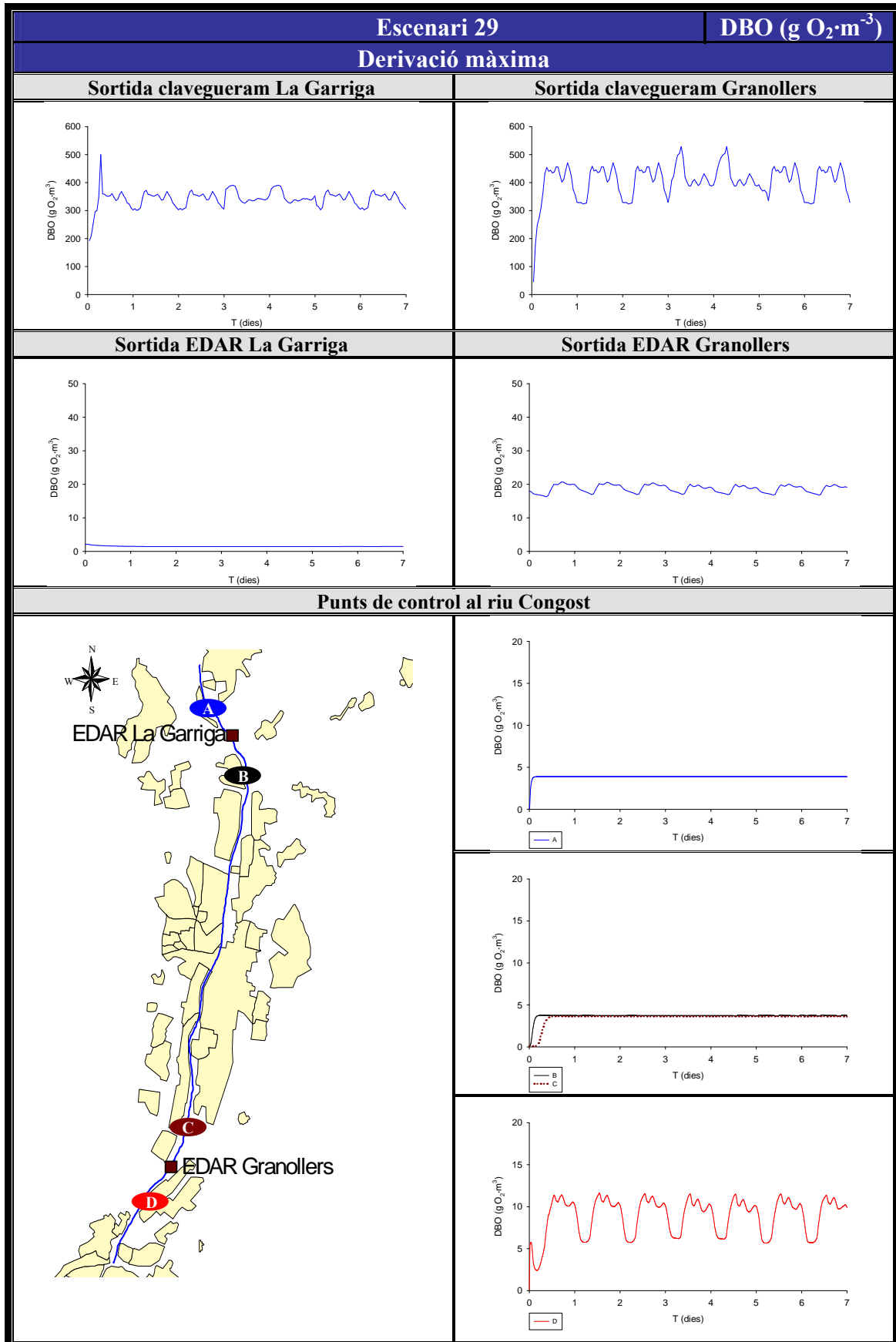
---

Igual que en l'escenari 27, el menor potencial de dilució del riu fa augmentar la concentració d'amoni en tots els seus trams. En aquest cas, en el tram C, l'efecte de l'abocament (valor mitjà durant els 4 primers dies) es veu augmentat en un 170%, respecte a l'escenari 26 (mateixa situació però amb cabal normal al riu). Amb mínim cabal al riu l'efecte de retenció dels dipòsits també es pot observar quan, comparant els resultats mitjans del tram C respecte als de l'escenari 27 (mateixa situació però sense dipòsits), s'observa una disminució mitjana en la concentració d'amoni del 70%. Pel que fa a la DBO la diferència respecte a l'escenari 26 no és significativa, ja que en tots dos casos l'efecte de laminació dels dipòsits anul·la l'abocament, mentre que la reducció respecte a l'escenari 27 és del 50%.

<b>Escenari 29</b>					
<b>Derivació màxima</b>					
<b>Sistema de clavegueram</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 minut		
Població total connectada			96400 habitants		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160	Característiques de l'aigua residual domèstica i industrial generada (valors mitjans)	Consum d'aigua (l/hab. i dia)	160
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	300
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	45
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	300		MES (g·m <sup>-3</sup> )	394
Abocaments industrials especials	-		Abocaments industrials especials	-	
Dipòsits de regulació	-		Dipòsits de regulació	-	
Avaries	-		Avaries	-	
Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidors (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-	
<b>EDAR</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Derivacions de cabal			Garriga→Granollers: cabal que superi els 1800 m <sup>3</sup> /d del cabal d'entrada a La Garriga		
Model La Garriga			Model Granollers		
Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3965	Característiques de l'aigua residual d'entrada (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	20577
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	342		DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )	406
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	30		NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )	48
	MES (g·m <sup>-3</sup> )	273		MES (g·m <sup>-3</sup> )	324
Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	-		Actuació sobreexidor primari (m <sup>3</sup> totals abocats a riu)	1638	
Altres	-		Altres	-	
<b>Riu</b>					
Durada simulació			7 dies		
Temps d'inferència			1 hora		
Característiques de l'aigua a l'inici del tram (valors mitjans)	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		0.4		
	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		3.9		
	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.55		
	MES (g·m <sup>-3</sup> )		28.5		
Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR La Garriga (valors mitjans)			Característiques de l'aigua de l'abocament de l'EDAR Granollers (valors mitjans)		
Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		1832	Q (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		21476
DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		1.48	DBO (g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup> )		18.69
NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		0.05	NH <sub>4</sub> (g N·m <sup>-3</sup> )		38.17
MES (g·m <sup>-3</sup> )		2.64	MES (g·m <sup>-3</sup> )		19.60
<b>Dades generals: pluja</b>					
-					









---

**Escenari 29: Derivació màxima**

---

En aquest escenari es deriva cap a l'EDAR Granollers tot el cabal d'entrada a l'EDAR La Garriga que superi els  $1800 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Les diferències en les concentracions d'amoni i DBO, als trams B-C del riu Congost, respecte a l'escenari 1, de referència, no són significatives. En el tram D la derivació suposa un augment del 11% del valor mitjà d'amoni. Pel que fa a la DBO, la derivació no afecta el rendiment de la planta i les diferències al tram D, no són significatives.

#### 4.4. Síntesi de l'anàlisi dels escenaris

En aquest apartat es fa una síntesi de les anàlisis que, en l'apartat anterior, s'han fet per a cada escenari de forma individualitzada. D'aquesta forma, s'estableixen una sèrie de conclusions que serviran per confeccionar un marc general per les regles d'actuació que es desenvoluparan en el següent apartat.

D'acord amb les condicions determinades en l'escenari 1, de referència, el tram estudiat del riu Congost es diferencia en dos subtrams, segons la concentració mitjana d'amoni present a l'aigua. En el primer subtram, fins a l'abocament de l'EDAR de Granollers, la concentració mitjana està per sota el nivell mínim ( $1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Per sobre d'aquest nivell es considera que la concentració és tòxica per la vida aquàtica (Prat *et al.*, 2002). En el segon subtram, aigües avall de l'abocament de l'EDAR Granollers, la concentració mitjana sobrepassa, àmpliament, aquest límit. El primer subtram és, per tant, molt més vulnerable a possibles alteracions, i cal preservar-lo mitjançant la gestió de les infraestructures hidràuliques de sanejament.

Les principals alteracions que afecten la qualitat de l'aigua del primer subtram són:

- Disminució del cabal del riu.
- Actuació dels sobreixidors dels sistemes de clavegueram (per avaries, obturacions o pluja).
- Abocaments industrials no controlats (als sistemes de clavegueram).
- Alteracions en els rendiments d'eliminació de l'EDAR la Garriga.

Segons l'anàlisi dels resultats dels escenaris presentats, la construcció de dipòsits de retenció, amb un sistema de control del cabal de descàrrega, als sistemes de clavegueram de La Garriga i Granollers, permetria:

- Reduir l'acció dels sobreiximents unitaris (aigua residual + aigua de pluja).
- Laminar el cabal d'entrada a les EDAR en temps sec.
- Reduir l'impacte dels abocaments industrials no controlats sobre les EDAR i riu, sobretot si són puntuals.

De l'anàlisi dels escenaris, també se'n dedueix que els canals de derivació entre els sistemes La Garriga, Granollers i Montornès del Vallès permeten, en situacions crítiques, reduir l'impacte d'abocaments industrials no controlats sobre les EDAR i el tram B-C del riu Congost (entre l'abocament de l'EDAR La Garriga i l'EDAR Granollers).

Les accions de derivació entre els sistemes La Garriga i Granollers, simulades en els escenaris, tenen l'objectiu d'evitar que la concentració d'amoni sobrepassi el valor d' $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , al tram B-C del riu Congost, assumint l'augment provocat al tram D (aigües avall de l'abocament de l'EDAR Granollers).

Altres conclusions que es deriven de l'anàlisi dels resultats són:

- La vulnerabilitat del riu Congost, respecte a la qualitat de l'aigua, en condicions de cabal mínim, front a qualsevol pertorbació.
- L'alta sensibilitat del tram B-C del riu Congost, a canvis en els rendiments d'eliminació d'amoni de l'EDAR La Garriga.
- La vulnerabilitat dels rendiments d'eliminació de les EDAR i de la qualitat de l'aigua del riu Congost als abocaments industrials no controlats.
- L'acceptabilitat del conjunt del sistema a augments de població moderats, però no a augments de connexions industrials.
- La possibilitat de derivació del sistema La Garriga cap al sistema Granollers, de part del cabal d'entrada a EDAR, amb finalitats d'estalvi econòmic (a causa de la diferència dels cost de depuració en cada instal·lació), sense provocar diferències significatives en la qualitat de l'aigua del riu Congost.

## **4.5. Gestió de les infraestructures hidràuliques**

L'objectiu principal d'aquesta tesi és facilitar la presa de decisions davant de situacions complexes en el camp de la gestió de les infraestructures hidràuliques. La integració dels models de qualitat de l'aigua ha servit per realitzar simulacions del conjunt del sistema estudiat, considerant totes les relacions que hi poden haver entre els subsistemes. Els escenaris simulats han aportat informació sobre les conseqüències que algunes situacions poden tenir sobre la qualitat de l'aigua de l'àrea avaluada. Amb aquesta informació i el coneixement extret dels experts gestors s'ha establert un conjunt de regles d'actuació (prèvia definició d'uns arbres de decisió) de forma que, quan es presentin aquestes situacions, l'impacte sobre la qualitat de l'aigua del riu sigui mínim.

A l'hora d'elaborar les regles d'actuació s'ha assumit l'existència de determinats elements que, en la realitat, encara no s'han incorporat al sistema. Aquest elements, necessaris perquè el SSDA funcioni, en alguns casos encara no s'han construït (cas dels dipòsits de regulació descrits en aquesta tesi o el canal de connexió entre les EDAR Granollers i Montornès del Vallès), encara estan en període de proves (sensors dels sistema de clavegueram) o el tipus de

comunicació en temps real encara no s'ha resolt (pluviòmetres i estacions de control del riu). No obstant, la intenció del CDCRB és la d'implementar aquests elements, sense els quals la capacitat d'actuació front a les situacions simulades als escenaris és pràcticament nul·la.

L'existència d'aquest elements ja es va assumir durant la construcció dels escenaris, amb l'objectiu d'avaluar la seva utilitat. És per això que es fa una proposta de regles d'actuació, assumint també la presència d'aquests elements i la seva implantació real en el sistema. D'aquesta forma, es pretén demostrar l'efectivitat que la construcció d'aquestes elements i l'aplicació de les regles d'actuació tindrien sobre la preservació de la qualitat de l'aigua del riu Congost.

Les assumpcions d'elements són les següents:

- Dipòsits de regulació: dipòsits de regulació construïts als sistemes de clavegueram amb un control sobre el seu cabal de descàrrega. 3 dipòsits al sistema de La Garriga amb una capacitat total de 7000 m<sup>3</sup> i 4 a Granollers amb una capacitat total de 33000 m<sup>3</sup>.
- Canal de connexió entre les EDAR Granollers i Montornès del Vallès: canal que ha de permetre derivar part del cabal del sistema Granollers cap al de Montornès del Vallès, amb una capacitat màxima de 800 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.
- Equips de control (amb sensors d'aroni i cabalímetres) als sistemes de clavegueram: 4 al sistema de Granollers i 3 al de La Garriga.
- Pluviòmetres: 3 pluviòmetres que envien un senyal cada 5 minuts, situats a La Garriga, Canovelles i Granollers.
- Estacions de control automàtiques de la qualitat de l'aigua del riu: 2 estacions de control, situades als mateixos punts que les actuals estacions manuals J037 i J089, que envien senyals, cada 5 minuts, de cabal i qualitat de l'aigua.
- Sistemes supervisors en les EDAR: sistemes que reben dades de cabal i qualitat de l'aigua de les sortides i entrades de les instal·lacions, i que envien senyals d'alarma en cas que no estiguin preparades per rebre derivacions de cabal d'altres EDAR (Rodríguez-Roda *et al.*, 2002; Cortés *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2005).

### **4.5.1. Construcció d'arbres de decisió**

Una forma de representar les regles d'actuació és a través d'arbres de decisió. En lloc de construir un sol arbre de decisió, se n'han construït 4 per simplificar-ne la seva comprensió. Cadascun d'aquests opera sota determinades condicions:

- Control dels dipòsits en condicions de temps sec.
- Control dels dipòsits en condicions de pluja.
- Control dels dipòsits en episodis de contaminació.
- Control de les derivacions entre sistemes.

Tal i com estan definits els arbres de decisió és possible que, amb algunes situacions, se'n activin dos alhora, sense que això signifiqui cap contradicció respecte a les accions a realitzar.

### **4.5.2. Control dels dipòsits en condicions de temps sec**

L'objectiu d'aquest arbre de decisió és laminar el cabal d'entrada a les EDAR. La construcció de dipòsits ha d'anar acompanyada d'un control del cabal de descàrrega d'aquests, de forma que es retengui l'aigua en les hores punta i es descarregui en les hores vall, tal com s'ha explicat en l'apartat "3.6.1.3.1. Els dipòsits de regulació".

En la Figura 4.3 es presenta l'arbre de decisió pel control dels dipòsits en condicions de temps sec. La primera premissa que s'ha de complir és que els pluviòmetres no hi poden detectar pluja, ja que, en aquest cas, s'activa l'arbre de "control dels dipòsits en condicions de pluja". Si els pluviòmetres no s'activen, el següent pas és comprovar que el nivell dels dipòsits no supera el 50% del nivell màxim. En cas que es superi, s'activa el control de descàrrega dels dipòsits explicat en l'arbre de control dels dipòsits en condicions de pluja. D'aquesta forma es garanteix que els dipòsits tinguin una reserva d'espai suficient per retenir l'aigua d'escorrentia en cas de pluja. Si aquest nivell del 50% no es supera, els dipòsits estan preparats per laminar cabal i s'activen els cabals fixos de descàrrega especificats. Aquests cabals de descàrrega s'han determinat durant la fase de construcció de l'escenari 3 i asseguren un cabal laminat de l'efluent del sistema de clavegueram sense que hi hagi acumulació d'aigua als dipòsits després de cada cicle diari. Aquest arbre, per tant, quedarà activat sempre que els sensors no detectin cap precipitació i el nivells dels dipòsits no superin el 50% del seu volum màxim. El funcionament del arbre també és individual per a cada dipòsit de retenció. Així, si el sensor d'un dipòsit informa que aquest supera el nivell del 50%, s'activarà el control de descàrrega dels dipòsits en condicions de pluja (veure Figura 4.4), només per aquest dipòsit.

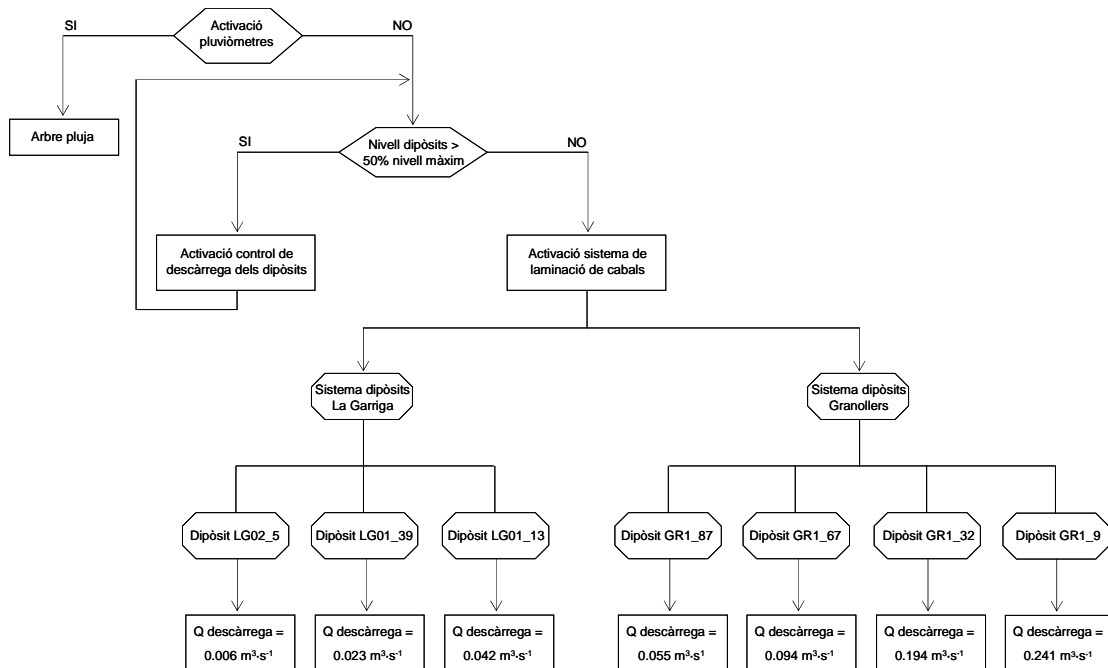


Figura 4.3. Control dels dipòsits en condicions de temps sec.

### 4.5.3. Control dels dipòsits en condicions de pluja

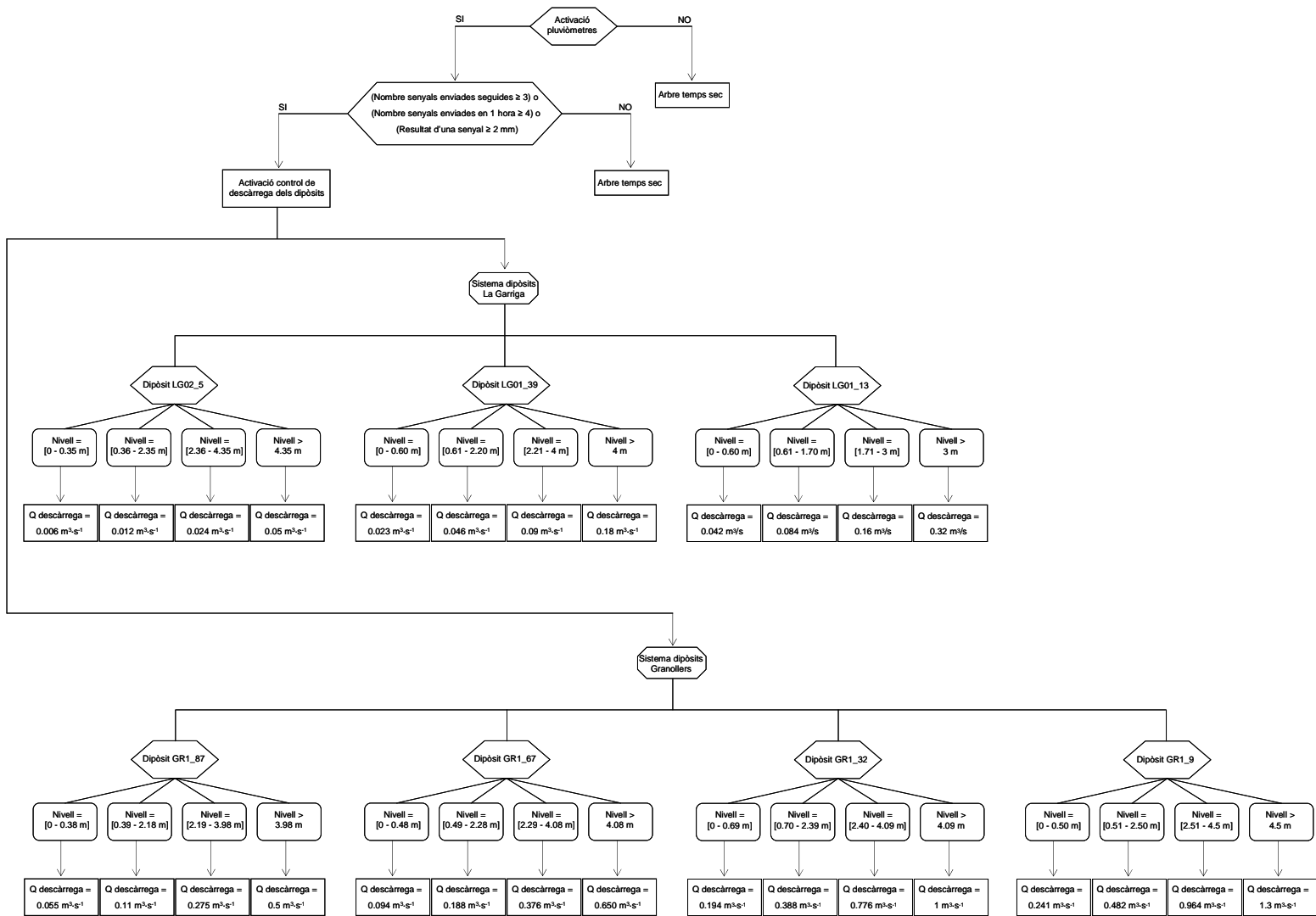
L'objectiu d'aquest arbre de decisió és regular el cabal de descàrrega dels dipòsits davant d'una situació de pluja. Quan es produeix un episodi de pluja els sistemes de clavegueram recullen part de l'aigua precipitada. En els primers instants d'aquest episodi l'escorrentia produïda arrossega els contaminants acumulats en la superfície i la xarxa de clavegueram i, si la intensitat de pluja és suficient, la xarxa no pot absorbir tota l'aigua, provocant l'actuació dels sobreexidors que aboquen l'aigua directament al riu. Els dipòsits, amb un sistema de regulació del seu cabal de descàrrega retenen el pic inicial de pluja, evitant l'actuació dels sobreexidors en el moment més crític.

En la Figura 4.4. es presenta l'arbre de decisió pel control dels dipòsits en condicions de pluja. La primera premissa a complir és que els pluviòmetres han de detectar pluja. En cas contrari, s'activa l'arbre de control dels dipòsits en condicions de temps sec. En cas que els pluviòmetres hagin detectat pluja, el següent pas és filtrar aquelles pluges massa poc intenses o curtes perquè l'activació del control de descàrrega sigui necessari. Els pluviòmetres envien senyals de la pluja recollida, cada 5 minuts. Perquè aquest arbre continuï endavant s'ha de complir alguna de les següents premisses:

- El nombre de senyals seguides enviades pel pluviòmetre és  $\geq 3$
- El nombre de senyals enviades durant una hora  $\geq 4$
- El resultat d'un senyal  $\geq 2$  mm

En cas que no es compleixi cap d'aquestes premisses, s'activa l'arbre de control dels dipòsits en condicions de temps sec. Si pel contrari, sí que es compleix, s'activa el control de descàrrega. Aquest control determina, en funció del nivell de l'aigua de cada dipòsit, quin ha de ser el cabal de descàrrega. Aquests cabals de descàrrega s'han determinat durant les fases de construcció i anàlisi dels escenaris de pluja 4, 6 i 7.

Figura 4.4. Control dels dipòsits en condicions de pluja.





#### **4.5.4. Control dels dipòsits en episodis de contaminació**

L'objectiu d'aquest arbre de decisió és laminar els episodis de contaminació extraordinaris que es puguin produir a la xarxa de clavegueram. En l'àrea d'estudi, sobretot a Granollers, l'activitat industrial és molt intensa. Aquest fet augmenta el risc de possibles abocaments accidentals de matèries contaminants al sistema de clavegueram que, en cas que es donin, solen tenir un caràcter puntual però amb elevades concentracions. Els dipòsits de regulació poden actuar distribuint la càrrega abocada al llarg del temps, disminuint així l'impacte sobre les EDAR i el riu.

Aquest arbre es deriva de l'anàlisi dels escenaris 25 i 26, on s'ha comprovat que l'efecte de laminació dels dipòsits, sobre un abocament puntual, redueix considerablement l'impacte d'aquest sobre les EDAR i el riu.

En la Figura 4.5 es presenta l'arbre de decisió pel control dels dipòsits en episodis de contaminació. La primera premissa a complir és que els equips de control del sistema de clavegueram enviïn una alarma. En cas contrari, s'activa l'arbre de control dels dipòsits en condicions de temps sec. Si l'alarma s'ha enviat, tot seguit es comprova si hi ha condicions de pluja i si aquesta és significativa, de la mateixa forma que en el control dels dipòsits en temps de pluja. En cas afirmatiu, s'activa l'arbre de control dels dipòsits en condicions de pluja. En cas negatiu, es verifica el potencial de l'episodi detectat. Aquesta verificació està basada en la concentració d'amoni, ja que, dels paràmetres avaluats, és el que més pot afectar al rendiment de les EDAR i a la qualitat de l'aigua del riu. Per a que s'activi el control dels dipòsits com a sistema de retenció d'abocaments, a cadascun dels dos sistemes, s'ha de complir una de les següents premisses:

##### Sistema de clavegueram de La Garriga

- Concentració de  $\text{NH}_4 > 60 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  durant més de 2 hores
- Concentració de  $\text{NH}_4 > 90 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

##### Sistema de clavegueram de Granollers

- Concentració de  $\text{NH}_4 > 75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  durant més de 2 hores
- Concentració de  $\text{NH}_4 > 100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Per a cada sistema, en cas que no es compleixin alguna d'aquestes premisses, s'activa l'arbre de control dels dipòsits en condicions de temps sec. Si, per contra, si que se'n compleix alguna, s'activa el control dels dipòsits com a sistema de retenció d'abocaments. Aquest control assigna, a cada dipòsit, el cabal de descàrrega de laminació determinat en l'escenari 3, el qual s'ha reduït

en un 15% per augmentar l'efecte de retenció sobre els abocaments puntuals. També s'ha inclòs una restricció de seguretat per evitar el sobreiximent dels dipòsits, de forma que si es supera el 75% del seu nivell màxim, s'activa el control de descàrrega dels dipòsits de l'arbre de pluja. Aquest arbre queda activat des del moment en que els sensors dels sistemes de clavegueram envien l'alarma i, com a factor de seguretat, la seva desactivació es produeix dues hores després que aquesta alarma deixi de funcionar.

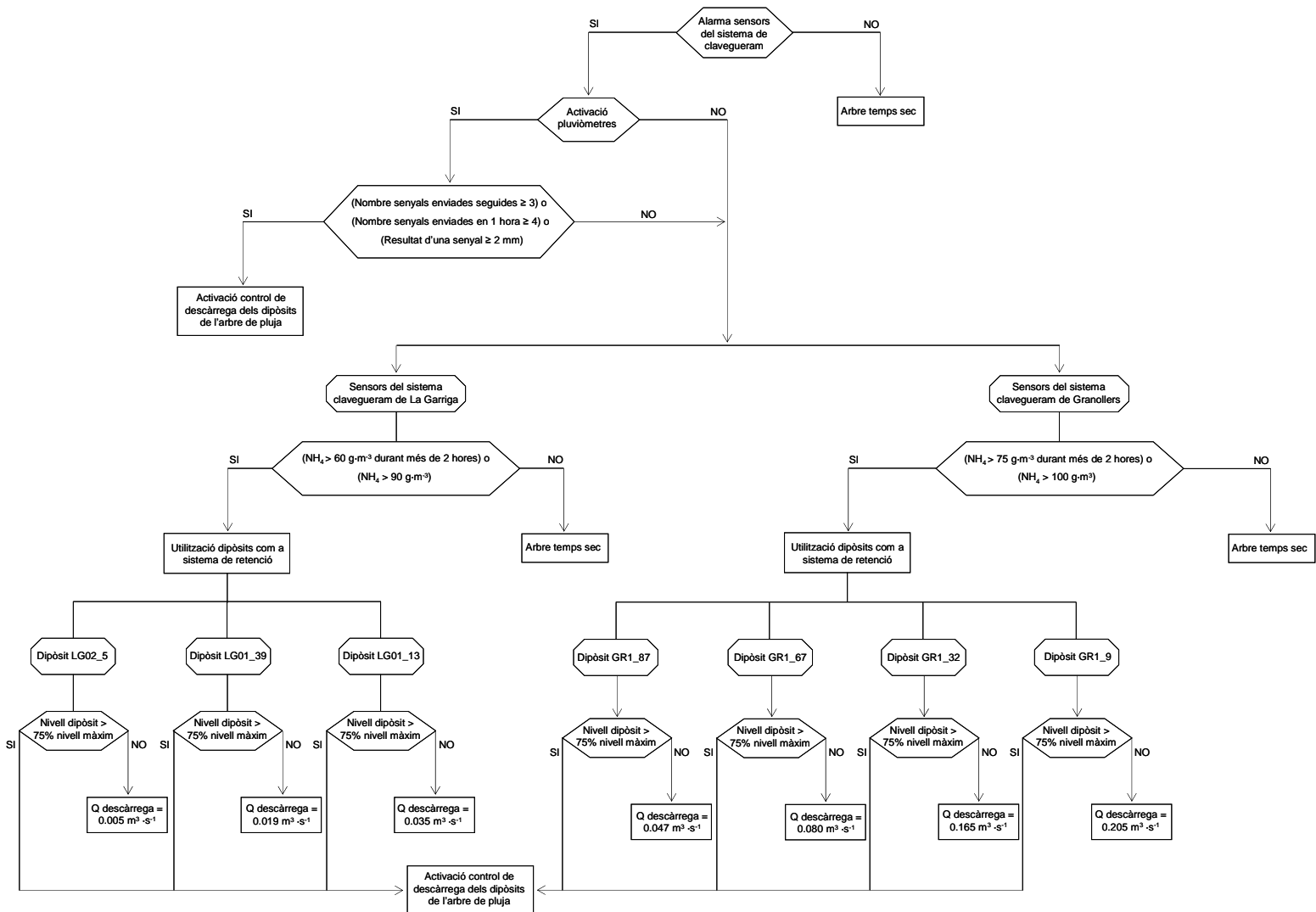


Figura 4.5. Control dels dipòsits en episodis de contaminació.

#### 4.5.5. Control de les derivacions entre sistemes

L'objectiu d'aquest arbre de decisió és el de determinar les derivacions de cabals entre els sistemes estudiats. Apart del canal de connexió entre els sistemes de La Garriga i Granollers, també s'assumeix l'existència d'un canal que uneix els sistemes de Granollers i Montornès del Vallès, com ja s'ha explicat anteriorment. En les situacions en les que la decisió és la de derivació del sistema de Granollers cap al de Montornès del Vallès, no s'avaluen les conseqüències en aquesta segona EDAR, assumint que pot absorbir aquestes derivacions.

En la Figura 4.6 es presenta l'arbre de decisió pel control de les derivacions entre sistemes. L'arbre s'inicia amb la detecció d'alarmes al sistema de clavegueram. En cas afirmatiu, la primera premissa a complir és que no hi hagi pluja. Si els pluviòmetres detecten pluja i és significativa s'activa el control de descàrrega dels dipòsits de l'arbre de pluja. Si no es detecta pluja, l'arbre es divideix en dues branques, una per a cada sistema:

##### Sistema La Garriga

Si els sensors del clavegueram de La Garriga detecten la presència d'amoni a concentracions elevades, tot seguit es comproven una sèrie de premisses per determinar quina actuació s'ha de prendre:

- En cas que el sistema supervisor de Granollers tingui activada alguna alarma, no s'actuarà.
- Si el cabal del riu, a l'estació J037, situada a l'inici del tram estudiat del riu Congost (veure Figura 3.21), és menor que  $0.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (50% del cabal mitjà), es derivarà el màxim cabal permès, per evitar l'impacte sobre la qualitat de l'aigua en aquest tram.
- En funció de la concentració d'amoni a l'entrada de l'EDAR, s'aplicarà un percentatge de derivació o un altre.
- Si la concentració d'amoni a l'entrada de l'EDAR no és major que  $60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , llavors es comprovarà la concentració d'amoni al riu, ja que en cas de que el riu ja portés concentracions elevades d'amoni interessaria diluir-les amb l'efluent de l'EDAR. D'aquesta forma, si la concentració inicial del riu és major que  $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  i la de l'efluent de l'EDAR és menor que  $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , no s'aplicarà cap derivació. En cas contrari, es donaran les condicions adequades per derivar el màxim cabal permès, amb l'objectiu de reduir costos econòmics, ja que el cost de depuració per metre cúbic a Granollers és menor que el de la Garriga.

Si els sensors del sistema de clavegueram de La Garriga no detecten la presència d'amoni a concentracions elevades, també s'optarà per la derivació màxima cap a Granollers, per reduir costos, sempre i quan es compleixin les premisses següents:

- Que el sistema supervisor de Granollers no tingui activada cap alarma.
- Que el cabal del riu no sigui menor que el 7Q10 (veure apartat 3.6.3.3.).
- Que els sensors del sistema de clavegueram de Granollers no enviïn cap alarma.
- Que la concentració d'amoni al riu, a l'estació J037, no sigui major que  $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , i que la concentració d'amoni a l'efluent de l'EDAR no sigui menor que  $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

#### Sistema Granollers

Si els sensors del clavegueram de Granollers detecten la presència d'amoni a concentracions elevades, tot seguit es comproven una sèrie de premisses per determinar quina actuació s'ha de prendre:

- En cas que el sistema supervisor de Montornès del Vallès tingui activada alguna alarma, no s'actuarà.
- Si el cabal del riu, a l'estació J037; és menor que  $0.2 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (50% del cabal mitjà), es derivarà el màxim cabal permès, per evitar l'impacte sobre la qualitat de l'aigua en aquest tram.
- En funció de la concentració d'amoni a l'entrada de l'EDAR, s'aplicarà un percentatge de derivació o un altre, o no s'actuarà.

Si els sensors del sistema de clavegueram de Granollers no detecten la presència d'amoni a concentracions elevades no s'actuarà.

Tornant a l'inici de l'arbre del control de les derivacions entre sistemes, en cas que els sensors dels sistemes de clavegueram no enviïn cap alarma, s'optarà per derivar el màxim cabal permès del sistema La Garriga cap al de Granollers amb l'objectiu de reduir costos econòmics, sempre i quan es compleixin les següents premisses:

- Que els pluviòmetres no detectin pluges significatives.
- Que el sistema supervisor de Granollers no tingui activada cap alarma.
- Que el cabal del riu no sigui menor que el 7Q10 (veure apartat 3.6.3.3.).
- Que la concentració d'amoni al riu, a l'estació J037, no sigui major que  $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , i que la concentració d'amoni a l'efluent de l'EDAR no sigui menor que  $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

La construcció d'aquest arbre es deriva de l'anàlisi conjunta dels escenaris, ja que s'han definit les actuacions en funció de la major part de les variables modificades en els escenaris (pluges, cabal mínim al riu, episodis de contaminació i derivacions entre sistemes). Igual que en l'arbre anterior, l'activació i desactivació (amb dues hores de retard de seguretat) vindrà determinada pel funcionament d'alguna alarma dels sensors dels sistemes de clavegueram. Això suposa que aquest arbre i l'anterior, que controlen les derivacions entre sistemes i la descàrrega dels dipòsits en episodis de contaminació, poden activar-se en paral·lel, sense que això repercuteixi sobre el seu funcionament.

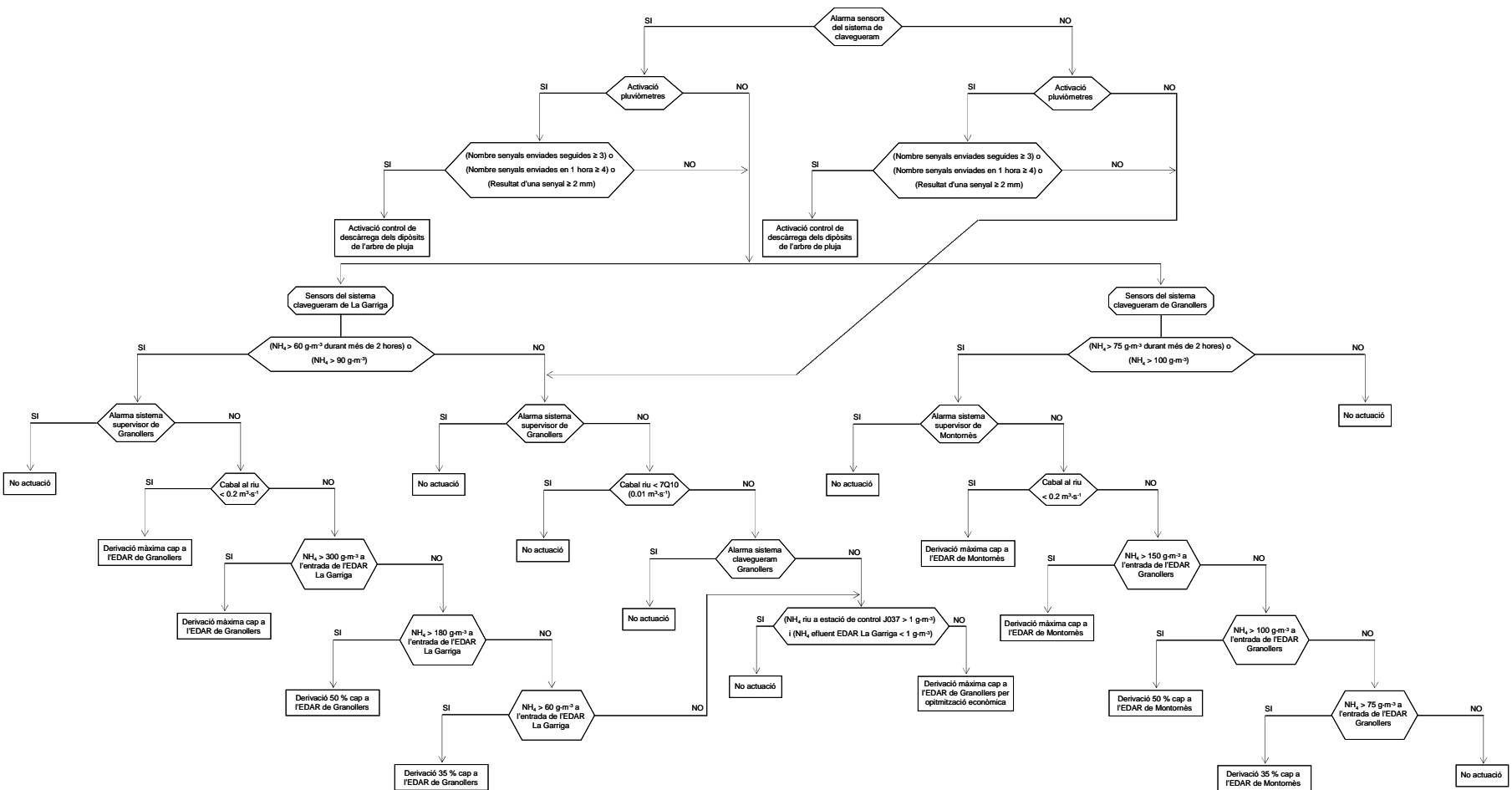
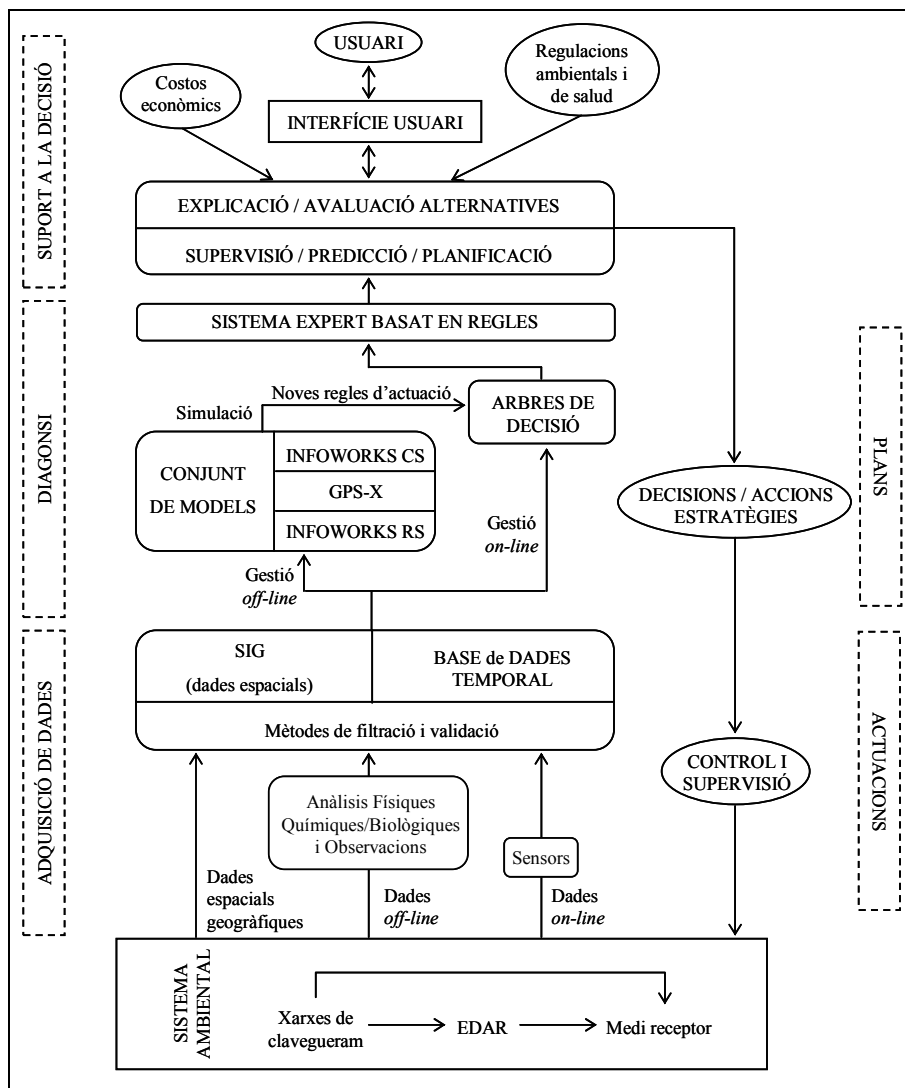


Figura 4.6. Control de les derivacions entre sistemes.

## 4.6. Funcionament del SSDA-Besòs.

Els arbres de decisió són un dels components principals dels SSDA-Besòs. Un cop desenvolupats i implementats, aquests s'integren en un esquema general de funcionament, en el qual l'usuari, amb una mínima intervenció, prendrà les decisions finals.

En la Figura 4.7 es presenta la proposta de funcionament multi-nivell (adquisició de dades, diagnosi, suport a la decisió, plans i actuacions) pel SSDA-Besòs.



**Figura 4.7.** Esquema de funcionament del SSDA-Besòs. Modificat a partir de Poch *et al.* (2004).

Mitjançant sensors, anàlisis i observacions, s'obté informació del sistema ambiental. Després de filtra-la i si no activa els arbres de decisió, aquesta informació s'utilitza per generar nous escenaris de simulació mitjançant el conjunt de models. Amb aquest tipus de funcionament (*off-line*) no es requereix una resposta immediata del SSDA. L'anàlisi dels resultats dels nous escenaris servirà per enriquir els arbres de decisió amb noves regles d'actuació.



En canvi, si les dades proporcionades pels sensors activen algun dels arbres de decisió, la resposta del SSDA ha de ser immediata. En aquest cas, s'entén que la gestió de les infraestructures hidràuliques es farà *on-line*, de forma que els sensors contínuament enviaran informació als arbres de decisió i, aquests, contínuament proporcionaran les actuacions concretes (percentatges de derivació de cabal entre sistemes i cabals de descàrrega dels dipòsits) fins que els sensors deixin d'aportar la informació que els activa.

Finalment, les regles d'actuació que s'extreuen dels arbres de decisió es codifiquen mitjançant un sistema expert. Abans de transformar les actuacions proposades pel sistema expert en ordres concretes a realitzar, el sistema haurà de proporcionar una valoració econòmica de l'actuació i haurà de comprovar que es compleix la normativa afectada. En aquesta fase, hi intervé l'usuari, que serà el que prendrà la decisió final d'acceptar o no les actuacions proposades.

## 5. Conclusions

---

Com a conclusió general, es presenta, al llarg d'aquest treball, una forma d'extreure coneixement sobre la gestió de les infraestructures hidràuliques de sanejament, mitjançant l'ús de models de simulació de la qualitat de l'aigua. Aquest coneixement s'ha utilitzat, després, per construir una sèrie de regles d'operació per afrontar els escenaris de gestió definits en l'estudi. Mitjançant el desenvolupament conceptual d'un SSDA, es proposa una metodologia d'ús del coneixement adquirit per gestionar més eficientment les infraestructures hidràuliques de sanejament i amb el principal criteri de garantir la millor qualitat possible de l'aigua del riu.

De la memòria presentada en aquest treball, també se'n extreuen les següents conclusions:

- 1) Existeix un consens a l'hora d'acceptar que la gestió integrada de les infraestructures hidràuliques relacionades amb el sanejament de les aigües residuals és més eficient i es pot centrar més en la protecció del medi receptor, que la gestió individualitzada dels sistemes de clavegueram, EDAR i medis receptors.
- 2) En els darrers anys s'han desenvolupat eines i tecnologies que poden facilitar la gestió integrada, però el seu ús encara no s'ha generalitzat, a causa dels costos d'implementació i la diversitat de gestors involucrats (amb diferents criteris de gestió).
- 3) Els SSDA són eines adaptables al camp de la gestió integrada dels sistemes de sanejament i es poden adequar a l'escala de treball desitjada. Aquests sistemes permeten abastar la complexitat de gestió d'un sistema integrat, simplificant el procés de decisió del gestor.

- 4) L'ús dels SIG es fa indispensable en el projecte presentat en aquesta memòria, ja que, tant en la definició i anàlisi dels escenaris com en la visualització dels resultats, es requereixen les tècniques d'anàlisi espacial que proporciona.
- 5) L'ús de models de simulació de la qualitat de l'aigua, com a eines de predicció i control en temps real, és molt complex. Els temps de simulació no són instantanis i són majors a mesura que s'augmenta el nombre de processos simulats, resultant massa extensos per a una possible actuació ràpida. En un sistema integrat, on es simula la qualitat de l'aigua al llarg dels sistemes de clavegueram, les EDAR i el medi receptor, aquesta opció encara resulta més complicada.
- 6) L'ús dels models, com a eina per generar coneixement sobre situacions que no s'han donat o comprovat en la realitat, sí que dona resultats satisfactoris i permet establir regles d'actuació per afrontar aquestes situacions.
- 7) L'ús d'un programa informàtic de transferència de dades, entre els models utilitzats, agilitza el procés de creació d'escenaris i evita la introducció manual d'errors en les dades d'entrada dels models.
- 8) De l'anàlisi dels resultats dels escenaris es deriven les següents conclusions:
  - 8.1) El tram estudiat del riu Congost es diferencia en dos subtrams, segons la concentració mitjana d'amoni present a l'aigua. En el primer subtram, fins a l'abocament de l'EDAR de Granollers, la concentració mitjana està per sota el nivell màxim considerat ( $1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). En el segon subtram, la concentració mitjana sobrepassa, àmpliament, aquest límit. Cal preservar la qualitat de l'aigua el primer subtram, molt més vulnerable, mitjançant la gestió de les infraestructures hidràuliques de sanejament.
  - 8.2) Les principals alteracions que poden afectar la qualitat de l'aigua del primer subtram són: disminució del cabal del riu, actuació dels sobreeixidors dels sistemes de clavegueram, abocaments industrials no controlats i alteracions en els rendiments d'eliminació de l'EDAR La Garriga.
  - 8.3) La construcció de dipòsits de retenció, amb un sistema de control del cabal de descàrrega, als sistemes de clavegueram de La Garriga i Granollers, permetria reduir l'acció dels sobreeiximents unitaris, laminar el cabal d'entrada a les EDAR

en temps sec, i reduir l'impacte dels abocaments industrials no controlats sobre les EDAR i riu, sobretot si són puntuals.

8.4) Els canals de derivació entre els sistemes La Garriga, Granollers i Montornès del Vallès permeten, en situacions crítiques, reduir l'impacte d'abocaments industrials no controlats sobre les EDAR i el tram B-C del riu Congost (entre l'abocament de l'EDAR La Garriga i l'EDAR Granollers).

8.5) Les accions de derivació entre sistemes La Garriga i Granollers, simulades en els escenaris, tenen l'objectiu d'evitar que la concentració d'amoni sobrepassi el valor d' $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , al tram B-C del riu Congost, assumint l'augment provocat al tram D (aigües avall de l'abocament de l'EDAR Granollers).

8.6) En condicions de cabal mínim, el riu Congost és més vulnerable, respecte a la qualitat de l'aigua, front a qualsevol pertorbació.

8.7) El tram B-C del riu Congost és molt sensible a canvis en els rendiments d'eliminació d'amoni de l'EDAR La Garriga.

8.8) Els rendiments d'eliminació de les EDAR i la qualitat de l'aigua del riu Congost són molt vulnerables als abocaments industrials no controlats.

8.9) El conjunt del sistema pot acceptar augments de població moderats, sense repercussions importants sobre el seu funcionament i sobre la qualitat de l'aigua del riu Congost. En canvi, no pot acceptar noves connexions industrials sense modificar el seu rendiment d'eliminació.

8.10) Existeix la possibilitat de derivació, del sistema La Garriga cap al sistema Granollers, de part del cabal d'entrada a EDAR, amb finalitats d'estalvi econòmic (a causa de la diferència dels cost de depuració en cada instal·lació), sense provocar diferències significatives en la qualitat de l'aigua del riu Congost.

- 9) Els arbres de decisió proposats es basen en l'existència d'un mínim d'equipaments que proporcionin informació de cabal i qualitat de l'aigua a diferents punts del sistema. Es considera que la instal·lació de sensors d'amoni al sistema de clavegueram i al riu Congost és bàsica pel funcionament del SSDA-Besòs.

- 10) L'actual sistema de legislació sanciona els sistemes de sanejament que aboquen a medi receptor per sobre d'uns nivells determinats de qualitat de l'aigua. Es considera que, per a una gestió integrada de les infraestructures hidràuliques de sanejament, seria més eficient una normativa que sancionés en funció de la càrrega contaminat abocada, i tingués en compte la qualitat de l'aigua del medi receptor a l'hora d'establir els límits màxims d'abocament.

## 6. Línies de treball futures

---

En aquest treball s'ha presentat una proposta de projecte de construcció del SSDA-Besòs. A partir d'aquest punt, s'ha de pensar en els passos a seguir per poder implementar-lo en el sistema real. En aquest sentit, es considera que s'han de seguir dues línies de treball.

Respecte a la primera línia, cal mantenir el sistema integrat de models:

- ✓ Actualitzant, periòdicament, els models i el SIG amb les noves dades que es van generant (noves connexions de clavegueram, canvis en les configuracions EDAR, etc..).
- ✓ Ampliant la base de coneixement, a través de la definició i creació de nous escenaris, amb l'ajuda dels experts i gestors involucrats en el projecte, de forma que es puguin simular el màxim nombre de situacions possibles, adaptant-les sempre a les noves realitats.
- ✓ Actualitzant i ampliant els arbres de decisió, en base a l'anàlisi dels nous escenaris creats.

Respecte a la segona línia de treball, cal crear un sistema centralitzat de control del conjunt de les infraestructures:

- ✓ Implementant un sistema integrat de models simplificats, a partir dels models actuals, reduint la quantitat de processos a simular i la quantitat d'informació d'entrada, de forma que es puguin reduir els temps de simulació. Aquest sistema de models s'ha

d'utilitzar per proporcionar al gestor, prediccions ràpides de cabal i qualitat de l'aigua, de forma que li proporcionin temps i capacitat d'actuació.

- ✓ Ampliant la xarxa de control de cabal i qualitat de l'aigua, amb cabalímetres i sensors d'amoní al sistema de clavegueram i al riu Congost.
- ✓ Implementant un sistema informàtic que rebí informació continua de l'estat del sistema (a través dels sistemes supervisors de les EDAR, cabalímetres i sensors del clavegueram i riu Congost, controls dels dipòsits de regulació i dels pluviòmetres).
- ✓ Creant d'un sistema de comunicacions entre la xarxa d'informació i els sistema informàtic de control.
- ✓ Dissenyant una interfície pel sistema informàtic de control, que proporcioni a l'usuari la informació rebuda, a través del SIG, i que activi els models de predicció i els arbres de decisió corresponents per determinar quines són les actuacions de gestió òptimes per a cada situació.

## 7. Referències bibliogràfiques

---

Ackers, P. (1991). Sediment aspects of drainage and outfall design. Proceedings of the *International Symposium on Environmental Hydraulics*. Desembre de 1998. Hong Kong (Xina).

Agència Europea del Medi Ambient: *Directiva 91/271/CE del Consell, de 21 de Maig de 1991, sobre el tractament de les aigües residuals urbanes*. Diari Oficial de la Unió Europea n° L 135 de 30/05/1991.

Agència Europea del Medi Ambient: *Directiva marc 2000/60/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'octubre de 2000, per la que s'estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de política d'aigües*. Diari Oficial de la Unió Europea n° L 327 de 22/12/2000.

Agència Catalana de l'Aigua: *Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya* (sotmès a informació pública). Octubre de 2004. Generalitat de Catalunya.

Ahlman, S. i Svensson, G. (2002). Modelling substance flows in urban sewer systems using MATLAB/Simulink. Proceedings of the *Ninth International Conference on Urban Drainage*, 8-13 de setembre de 2002. Portland (Estats Units).

Argent, R. M. (2004). An overview of model integration for environmental applications-components, frameworks and semantics. *Environmental Modelling & Software*, 19 (3): 219-234.



Balaguer, M. D., Colprim, J., Martín, M., Poch, M., i Rodríguez-Roda, I. (1998). *Tractament biològic d'aigües residuals urbanes*. Universitat de Girona. Girona (Catalunya).

Beck, M. B. (1976). Dynamic modelling and control applications in water quality maintenance. *Water Research*, 10 (7): 579-595.

Beck, M. B. (2005). Vulnerability of water quality in intensively developing urban watersheds. *Environmental Modelling & Software*, 20 (4): 381-400.

Berlekamp, J., Graf, N., Hess, O., Lautenbach, S., Reimer, S. i Matthies, M. (2004). Integration of Moneris and GREAT-ER in the Decision Support System for the German Elbe River Basin. Proceedings of *International Environmental Modelling and Software Society*, iEMSs. Juny de 2004. University of Osnabrück (Alemanya).

Blöch, H. (1999). The European Union Water Framework Directive: taking european water policy into the next millennium. *Water Science and Technology*, 40 (10): 67-72.

Butler, D. i Schütze, M. (2005). Integrating simulation models with a view to optimal control of urban wastewater systems. *Environmental Modelling & Software*, 20 (4): 415-426.

Camilleri, F. (2004). Modelling and optimisation of integrated wastewater systems. Treball de recerca. Universitat de Strathclyde, Glasgow (Regne Unit).

Carrasco, F., Llauro, X. i Poch, M. (2005). A methodological approach to knowledge-based control and its application to a municipal solid waste incineration plant. *Combustion Science Technology* (en premsa).

Chang, Y.-C. i Chang, N.-B. (2002). The design of a web-based decision support system for the sustainable management of an urban river system. *Water Science and Technology*, 46 (6-7): 131-139.

Chapra, S. C. (1997). *Surface water-quality modeling*. McGraw-Hill Editions. Singapur.

Cheng, H., Yang, Z., i Chan, C. W. (2003). An expert system for decision support of municipal water pollution control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16: 159-166.

Cianchi, P. i Marsili-Libelli, S. (2000). Integrated software platform for water quality management. Proceedings of *WATERMATEX 2000*. 18-20 de setembre de 2000. Gent (Bèlgica).

Cianchi, P., Marsili-Libelli, S., Burchi, A. i Burchielli, S. (2000). Integrated river quality management using internet technologies. Proceedings of *WATERMATEX 2000*. 18-20 de setembre de 2000. Gent (Bèlgica).

Clifforde, I. T., Tomicic, B. i Mark, O. (2002). Integrated Wastewater Management. A European Vision for the Future. Proceedings of the *Ninth International Conference on Urban Storm Drainage*. 8-13 de setembre de 2002. Portland (Estats Units).

Comas, J. (2000). Development, implementation and evaluation of an activated sludge supervisory system for the Granollers WWTP. Tesi doctoral.

Comas, J., Poch, M., Rodríguez-Roda, I., Cortés, U. i Sànchez-Marrè, M. (2002). *Eleven years of experience in Designing and Building real Environmental Decision Support Systems*. Universitat de Girona. Girona (Catalunya).

Cortés, C., Alemany, J., Rodríguez-Roda, I., Comas, J., Poch, M., Freixó, A. i Arràez, J. (2005) Sistemas de soporte a la decision para EDARs. *Ingeniería Química*, 425: 119-126.

Cortés, U., Sànchez-Marrè, M., Ceccaroni, L., Rodríguez-Roda, I. i Poch, M. (2000). Artificial intelligence and environmental decision support systems. *Applied Intelligence*, 13: 77-91.

Consorti per la Defensa de la Conca del Riu Besòs. (<http://www.cdcbesos.org/>). Darrera data de consulta: Octubre de 2005. Darrera data d'actualització del web: 27-4-2005.

Denzer, R. (2002). Generic Integration in Environmental Information and Decision Support Systems. Proceedings of *International Environmental Modelling and Software Society*, iEMSs. 3: 53-60. 24-27 de juny de 2002. Lugano (Suïssa).

DHI Software (2005). Mike 11 copyright ©. Hørsholm (Dinamarca).

DHI Software (2005). MOUSE. Hørsholm (Dinamarca).

DHI Software (2005). WEST ®. Hørsholm (Dinamarca).

Devesa, F., De Letter, P., Poch, M., Díez, C.R., Freixó, A. i Arráez, J. (2004). Development of an EDSS for the Management of the Hydraulic Infrastructure to Preserve the Water Quality in the Besòs Catchment. Proceedings of *EU-LAT Workshop on e-Environment*. 11:31-46. 30-3 de desembre de 2004. San José (Costa Rica).

Dworak, T., Gonzalez, C., Laaser, C. i Interwies, E. (2005). The need for new monitoring tools to implement the WFD. *Environmental Science & Policy*, 8: 301-306.

Erbe, V., Risholt, L. P., Schilling, W. i Londong, J. (2002). Integrated modelling for analysis and optimisation of wastewater systems - the Odenthal case. *Urban Water*, 4: 63-71.

ESRI (2005). ArcView GIS V.3.2. Redlands (Estats Units).

Fedra, K. (2000). *Environmental Decision Support Systems: A Conceptual Framework and Application Examples*. Tesi doctoral.

Fedra, K. i Jamieson, D. G. (1995). An object-oriented approach to model integration: a river basin information system example. *IAHS Publication*, 235: 669-676.

Frehmann, T., Niemann, A., Ustohal, P. i Geiger, W. F. (2002). Effects of real time control of sewer systems on treatment plant performance and receiving water quality. *Water Science and Technology*, 45 (3): 229-237.

Henze, M., Grady C.P.L. Jr., Gujer, W., Marais, G.v.R. i Matsuo, T. (1987). Activated sludge model No 1. IAWQ Scientific and Technical Report No1. 1. IWA. Londres (Regne Unit).

Hernández, A. (1992). *Saneamiento y Alcantarillado*. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Colección senior nº 7. Madrid (Espanya).

Hulsbeek, J.J.W., Kruit J., Roeleveld, P.J. i Van Loosdrecht M.C.M. (2002). A practical protocol for dynamic modelling of activated sludge systems. *Water Science & Technology*, 45 (6): 127-136.

Hydromantis (2003). GPS-X Version 4.1. Hydromantis Inc. Ontario (Canada).

IFAK (2005). SIMBA 5.0. Magdeburg (Alemanya).

Jakeman, A. J. i Letcher, R.A. (2003). Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environmental Modelling & Software*, 18 (6): 491-501.

Luay Froukh, M. (2001). Decision-support system for domestic water demand forecasting and management. *Water Resources Management*, 15: 363-382.

Martínez, M., Rodríguez-Roda, I., Poch, M., Cortés, U. i Comas, J.(2005). Dynamic reasoning to solve complex problems in activated sludge processes: a step further in decision support systems. *Water Science and Technology* (en premsa).

Meirlaen, J., Van Assel, J. i Vanrolleghem, P. A. (2002). Real time control of the integrated urban wastewater system using simultaneously simulating surrogate models. *Water Science and Technology*, 45 (3): 109-116.

Metcalf, L. i Eddy, H. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. International Edition. McGraw-Hill Higher Education. New York (Estats Units).

Mujeriego, R. i Asano, T. (1999). The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. *Water Science and Technology*, 40 (4-5): 1-9.

Ninyerola, M., Pons, X., Roure, J.M. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*, 20: 1823:1841.

Olsson, G. i Newell, B. (1999). *Wastewater Treatment Systems. Modelling, Diagnosis and Control*. IWA publishing. London.

Poch, M., Comas, J., Rodríguez-Roda, I., Sánchez-Marré, M. i Cortés, U. (2004). Designing and building real environmental decision support systems. *Environmental Modelling & Software*, 19 (9): 857-873.

Pons, X. (1996). Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica. *VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Juaristi, M. i Moro, I. (eds). Vitoria-Gasteiz.

Prat, N., Munné, A., Solà, C., Casanovas-Berenguer, R., Vila-Escalé, M., Bonada, M., Jubany, J., Miralles, M., Plans, M. i Rieradevall, M. (2002). *La Qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera: informes 1994-2002*. Diputació de Barcelona, Àrea de Medi Ambient. Barcelona (Catalunya).

Rauch, W., Bertrand-Krakewski, J. L., Krebs, P., Mark, O., Schilling, W., Schütze, M. i Vanrolleghem, P. A. (2002). Deterministic modelling of integrated urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 45 (3): 81-94.

Ruiz, J.M<sup>a</sup>., Monxó, D., Zuloaga, S. i Correa, L. (1999). *Pla director de protecció contra avingudes a la conca del Besòs*. Técnica y proyectos, SA (TYPESA). Agència Catalana de l'Aigua. Barcelona (Catalunya).

Rodríguez-Roda, I., Sánchez-Marrè, M., Comas, J., Baeza, J., Colprim, J., Lafuente, J., Cortés, U. i Poch, M. (2002). A hybrid supervisory system to support WWTP operation: implementation and validation. *Water Science & Technology*, 45 (4-5), 289-297.

Schroeder, K. i Gommery, L. (2002). Integrated Sewage Management- Setup of networked Models for Analysis and Improvement of the Berlin Sewage System. *Sewer Processes and Networks*, Paris-2002. 319-326.

Schroeder, K. i Pawlowsky-Reusing, E. (2004). Current state and development of the real-time control of the Berlin Sewage System . *4<sup>th</sup> IWA World Water Congress and Exhibition*, 19-24 de setembre de 2004. Marrakech (Marroc).

Takács, I., Patry, G.G. i Nolasco, D. (1991). A dynamic model of the clarification-thickening process. *Water Research*, 25: 1263-1271.

Taylor, S., Williams, W., Murell, K. i Tomicic, B.(2000). Status and development plans for the integrated catchment simulator. Proceedings of the *international IMUG2000 conference*. 12-14 d'abril de 2000. Praga (República Checa).

Tchobanoglous, G. (1994). *Ingeniería sanitaria. Redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*. Metcalf-Eddy, INC. Editorial Labor, S. A. Barcelona (Catalunya).

Tomicic, B., Lützen, A. i Mark, O. (2001). Integrated Modeling of the Sewer System and the Receiving Waters for the Island of Ischia. *Urban Drainage Modeling Speciality Symposium*. 20-24 de maig de 2001. Florida. Orlando (Estats Units).

Vanrolleghem, P. A., Benedetti, L. i Meirlaen, J. (2005). Modelling and real-time control of the integrated urban wastewater system. *Environmental Modelling & Software*, 20 (4): 427-442.

Wallingford Software Ltd. (2005). InfoWorks v6 copyright ©. Wallingford (Regne Unit).

Willems, P. (2003). Methodology for integrated catchment modelling. Proceedings of the *international IMUG Conference*. 23-25 d'abril de 2003. Tilburg (Holanda).

Yen, B.C. (1973). Open-channel flow equations revisited. *Journal of the engineering mechanics division*, 99 (5): 979-1009.